

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**ZAVRŠNI RAD**

**Matej Dominković**

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof.dr.sc. Zoran Lulić

Student:

Matej Dominković

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći se znanjem stečenim tijekom studija i navedenom literaturom.

Zahvaljujem prof.dr.sc. Zoranu Luliću na pomoći i savjetima, te djelatnicima Katedre za motore i vozila na strpljenju i ukazanoj pomoći pri rješavanju tehničkih problema prilikom izrade završnog rada.

Matej Dominković

## Sadržaj

Popis slika.....	III
Popis tablica.....	V
Popis mjernih jedinica .....	VI
1. UVOD.....	1
2. OTVARANJE I DEFINIRANJE PROJEKTA.....	2
2.1. Izrada modela vozila.....	3
2.2. Definiranje modela vozila(engl. Vehicle Model).....	4
2.3. Zadavanje fizikalnih karakteristika za električno osobno vozilo .....	6
2.3.1. Vozilo (engl. Vehicle) .....	6
2.3.2. Diferencijal .....	7
2.3.3. Kotač (engl. Wheel).....	7
2.3.4. Kočnice (engl. Breaks) .....	8
2.3.5. Elektromotor (engl. Electrical Machine) .....	9
2.3.6. Jednostupanjski reduktor (engl. Single Ratio Transmission) .....	13
2.3.7. Vozačka kabina (engl. Cockpit) .....	13
2.3.8. Baterija (engl. Battery H) .....	16
2.4. Zadavanje fizikalnih karakteristika za minibus sa elektomotorom pogonjenim na baterije .....	17
2.4.1. Vozilo (engl. Vehicle) .....	18
2.4.2. Diferencijal .....	18
2.4.3. Kotač (engl. Wheel).....	19
2.4.4. Kočnice (engl. Breaks) .....	20
2.4.5. Elektromotor (engl. Electrical Machine) .....	20
2.4.6. Jednostupanjski prijenosnik (engl. Single Ratio Transmission).....	23
2.4.7. Vozačka kabina (engl. Cockpit) .....	23
2.5. Povezivanje komponenti vozila.....	26
2.6. Proračunski zadaci (engl. Project Data) .....	27
2.6.1. Vozni ciklus (engl.Cycle Run) .....	28
2.6.2. Ubrzanje pri najvećem opterećenju (engl. Full Load Acceleration) .....	30
2.6.3. Svladavanje uspona (engl. Climbing performance) .....	30
2.6.4. Kočenje (engl. Break).....	30
3. REZULTATI .....	31

3.1. Električno osobno vozilo.....	32
3.2. Električni minibus na baterije.....	37
4. ZAKLJUČAK.....	40
5. LITERATURA .....	41

## Popis slika

Slika 2.1.	Prikaz glavnog izbornika programa AVL CRUISE-a .....	2
Slika 2.2.	Prikaz komponenti pomoćne trake .....	4
Slika 2.3.	Položaj komponenti u proračunskom modelu električnog osobnog vozila .. .....	5
Slika 2.4.	Izgled glavnog izbornika za definiranje vozila.....	6
Slika 2.5.	Kartica: Koeficijent otpora kotrljanja (engl. Rolling resistance faktor) .....	8
Slika 2.6.	Otpori vozila u ovisnosti o brzini vozila .....	11
Slika 2.8.	Signal ovisan o putu pedale gasa i tlak u kočnici o putu kočnice .....	15
Slika 2.9.	Napon u ovisnosti postotku napunjenosti baterije .....	16
Slika 2.10.	Komponente električnog minibusa.....	17
Slika 2.11.	Kartica: Koeficijent otpora kotrljanja(engl. Rolling resistance faktor) ....	19
Slika 2.12.	Otpori minibusa ovisni o brzini vozila .....	20
Slika 2.13.	Topografski dijagram za snagu i iskoristivost .....	22
Slika 2.14.	Topografski dijagram za moment i iskoristivost .....	22
Slika 2.15.	Signal ovisan o putu papuče gasa i tlak u kočnici o putu kočnice Baterija (engl.Battery H).....	24
Slika 2.16.	Veze između komponenti vozila .....	26
Slika 2.17..	Primjeri veza na komponentama [5].....	26
Slika 2.18.	Prikaz dodavanja zadatka .....	27
Slika 2.19.	Karakteristika profila NEDC .....	29
Slika 2.20.	Profil ciklusa Ftp_75 .....	30
Slika 3.1.	Izbornik centra za računanje simulacije.....	31
Slika 3.2.	Način rada Component Variation funkcije [8] .....	31
Slika 3.3.	Prikaz 3D modela systemske varijacije.....	32
Slika 3.4.	Karakteristike potrošača klima uređaja .....	32
Slika 3.5.	Karakteristike potrošača radio uređaja .....	33
Slika 3.6.	Karakteristike potrošača žarulja .....	33
Slika 3.7.	Prikaz potrošnje po NEDC-u i Ftp_75 .....	34
Slika 3.8.	Prikaz potrošnje varijacije sa uključenim potrošačima prema NEDC-u i Ftp_75 .....	34
Slika 3.9.	Uspon koji vozilo može savladati u ovisnosti o brzini vozila .....	35
Slika 3.10.	Zaustavni put kočenja sa početne brzine od 100 km/h.....	35
Slika 3.11.	Ubrzanje električnog osobnog vozila .....	36
Slika 3.12.	Potrošnja minibusa po izračunu dvaju ciklusa u praznom stanju.....	37

---

Slika 3.13.	Potrošnja minibusa po izračunu dvaju ciklus u punom stanju .....	37
Slika 3.14.	Savladivi uspon u ovisnosti o brzini vozila .....	38
Slika 3.15.	Zaustavni put punog i praznog vozila sa 100 km/h do zaustavljanja .....	38
Slika 3.16.	Ubrzanje minibusa bez tereta .....	39
Slika 3.17.	Ubrzanje minibusa s maksimalnim teretom .....	39

---

## Popis tablica

Tablica 2.1.	Podaci za model osobnog vozila.....	6
Tablica 2.2.	Karakteristike diferencijala.....	7
Tablica 2.3.	Kartica:Kotač (engl. Wheel) .....	7
Tablica 2.4.	Kartica: Radius kotrljanja (engl.Rolling Radius) .....	8
Tablica 2.5.	Karakteristike kočnog diska[2] .....	8
Tablica 2.6.	Podaci za izračun ukupnih otpora vozila .....	10
Tablica 2.7.	Kartica: Electric Machine .....	11
Tablica 2.8.	Karakteristika reduktora .....	13
Tablica 2.9.	Karakteristike vozačke kabine .....	13
Tablica 2.10.	Informacijske veze između komponenata Data bus-a .....	14
Tablica 2.11.	Karakteristike baterije .....	16
Tablica 2.12.	Podaci za model minibusa .....	18
Tablica 2.13.	Karakteristike diferencijala.....	18
Tablica 2.14.	Kartica:Kotač(engl. Wheel) .....	19
Tablica 2.15.	Kartica: Radius kotrljanja(engl. Rolling Radius) .....	19
Tablica 2.16.	Karakterisitke kočnog diska [2] .....	20
Tablica 2.17.	Podaci za izračun ukupnih otpora vozila .....	21
Tablica 2.18.	Kartica: Electric Machine .....	21
Tablica 2.19.	Karakteristika reduktora .....	23
Tablica 2.20.	Karakteristike vozačke kabine .....	23
Tablica 2.21.	Karakteristike baterije .....	24
Tablica 2.22.	Definirane karakteristike za profil NEDC .....	28
Tablica 2.23.	Mjerne točke brzina .....	30
Tablica 2.24.	Mjerne točke brzine za uspon .....	30



## Popis mjernih jedinica

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
$a$	$\text{m/s}^2$	Ubrzanje
$A$	$\text{m}^2$	Površina
$C_D$	-	Koeficijent otpora zraka
$f_k$	-	Koeficijent otpora kotrljanja
$F_R$	N	Otpor kotrljanja
$G_V$	N	Težina vozila
$Hd$	MJ/l	Donja ogrjevna vrijednost
$I$	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	Moment inercije
$i$	-	Prijenosni omjer reduktora
$n$	1/min	Broj okretaja
$n_{m,Vmax}$	1/min	Brzina vrtnje elektromotora
$p$	bar	Tlak
$P_{Rk}$	W	Snaga potrebna za svladavanje otpora zraka
$P_t$	W	Snaga potrebna za svladavanje otpora prijenosa snage
$P_e(v)$	W	Efektivna snaga motora
$r_d$	m	Dinamički radijus kotača
$v_0$	m/s	Brzina protuvjetra
$v$	m/s	Brzina
$\rho$	$\text{kg/m}^3$	Gustoća zraka
$\eta$	-	Stupanj korisnosti

## 1. UVOD

AVL CRUISE je simulacijski paket koji podržava standardne operacije u sustavima vozila i analize pogonskog sklopa kroz sve faze razvoja, od planiranja koncepta, do lansiranja proizvoda pa i dalje.

Program se najčešće koristi kod razvoja motora i pogonskih sustava kako bi se optimirali sustavi osobnih vozila, buseva, kamiona, hibridnih i električni vozila.

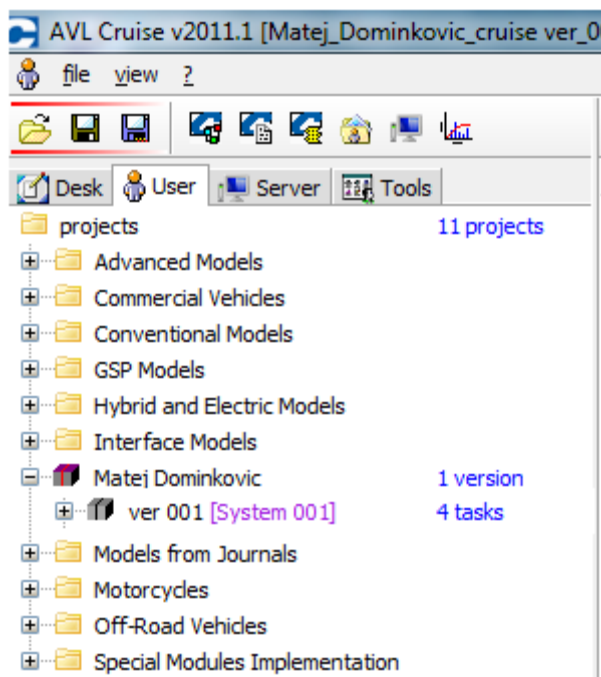
U ovom radu su obrađena električna vozila, u odnosu na [1]:

- Potrošnju goriva (energije) i emisiju plinova za određeni ciklus vožnje
- Performanse vozila za ubrzanje, svladavanje uspona, kočenje, traksijske sile.

Prilikom definiranja vozila ponuđen je veliki broj komponenata. To omogućava korisniku da modelira različita vozila, kao što su motocikli, putnički automobili, kamioni i autobusi. Također se mogu modelirati različiti pogonski sustavi, kao što su hibridna vozila, koncepti sa dva motora i sofisticirani transmisijski sustavi. Da bi se dobili potrebni rezultati potrebno je sastaviti valjani model vozila i što detaljnije opisati njegove fizikalne karakteristike kako bi model bio što precizniji. U nastavku rada su obrađena dva tipa vozila, cilj rada je bio da se vidi kolika je energetska potrošnja standardnog osobnog vozila i minibusa na električni pogon. Također je trebalo naći energetska potrošnja vozila kako bi se mogao definirati potrebni kapacitet baterija za pogon elektromotora. U sljedećem poglavlju će se detaljno opisati način unosa podataka te način povezivanja određenih energetskih i informacijskih veza između dijelova vozila. Također će se pokazati rezultati relevantni za karakteristike vozila, uključujući i energetska potrošnja istog. Pokazat će se i neke od naprednijih mogućnosti programa kao korisnog alata u simulaciji vozila i određivanju bitnih polaznih parametara u konstrukciji vozila prije nego je isti uopće napravljen i testiran. Vidjet će se na koje sve načine možemo vozilo testirati i koji se profili kretanja vozila koriste u svijetu kao standardni profili potrošnje te se kao takvi prezentiraju javnosti umjesto testova sa stvarnim vozilima. Dobivene rezultate potrošnje ćemo usporediti sa postojećim vozilima sa elektromotorom, ali i sa konvencionalnim motorima s unutarnjim izgaranjem. Na kraju će se dobivenu potrošnju usporediti sa kapacitetom današnjih baterija da bi se vidjelo koliko ovakva vozila mogu konkurirati konvencionalnim vozilima sa motorima s unutarnjim izgaranjem. U drugom dijelu rada bavit ćemo se potrošnjom minibusa sa elektromotorom pogonjenim na baterije te razmatrati koliko je takav način pokretanja isplativ.

## 2. OTVARANJE I DEFINIRANJE PROJEKTA

Kako bi dobili energetska potrošnja vozila potrebno je ta vozila i definirati. Koristeći programski paket AVL Cruise može se modelirati vozilo koje odgovara stvarnim sa svim potrebnim dijelovima kao i sa svim potrebnim dodacima koja suvremena vozila posjeduju (regenerativno kočenje, sustav protiv proklizavanja (engl. *Anti slip control*) etc.). Da bi se mogla izraditi odgovarajuća simulacija potrebno je vozilo i načina rada vozila definirati u određenim dijelovima programa. Prilikom početka rada na *Cruise-u* potrebno je otvoriti novi projekt potreban za daljne simuliranje uvjeta vožnje vozila (Slika 2.1.)



Slika 2.1. Prikaz glavnog izbornika programa AVL CRUISE-a

Za otvaranje novog projekta u izborniku *User* potrebno je odabrati *new| project* te imenovati projekt, a zatim odabrati *new| verzion*. Nakon otvaranja nove verzije projekta u kojoj se detaljno opisuje vozilo i sve što je potrebno da bi se simulacija mogla pokrenuti potrebno je odabrati opciju *load* koja otvara glavnu radnu ploču *Desk*. Unošenjem karakteristika vozila u izbornik za model vozila (engl. *Vehicle Model*), podatke o vozilu u *Vehicle Data* te podatke o vrsti zadatka koje od vozila tražimo da program simulira *Project Data* može se provesti simulacija.

## 2.1. Izrada modela vozila

Prilikom otvaranja programa AVL CRUISE pojavljuje se glavni izbornik sa četiri definirane kartice:

- *Desk Area*- radna površina za modeliranje vozila
- *User Area*- glavni folder sa mapama programa
- *Server Area*
- *Tool Area*

Pod karticom *User* otvara se novi projekt pod nazivom Električno vozilo (engl. *Electric Vehicle*) u kojem se kreira nova verzija zvana **električno osobno vozilo**. Desnim klikom miša iz padajućeg izbornika odabiremo *load* pri čemu se otvara radna površina (engl. *Desk Area*) te se može početi sa definiranjem osobnog vozila. Programska struktura radne površine sastoji se od:

*Desk Area*:

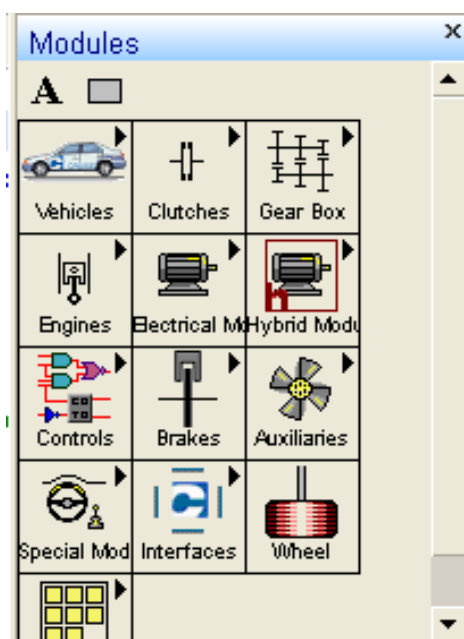
- ***Project Explorer***
  - *Vehicle Model*
  - *Vehicle Data*
  - *Project Data*
- ***Calculation Center***
  - *Single Calculation*
  - *Matrix Calculation and Component Variation*
  - *Batch calculation*
  - *CMC Calculation*
- ***Result Manager***

## 2.2. Definiranje modela vozila (engl. *Vehicle Model*)

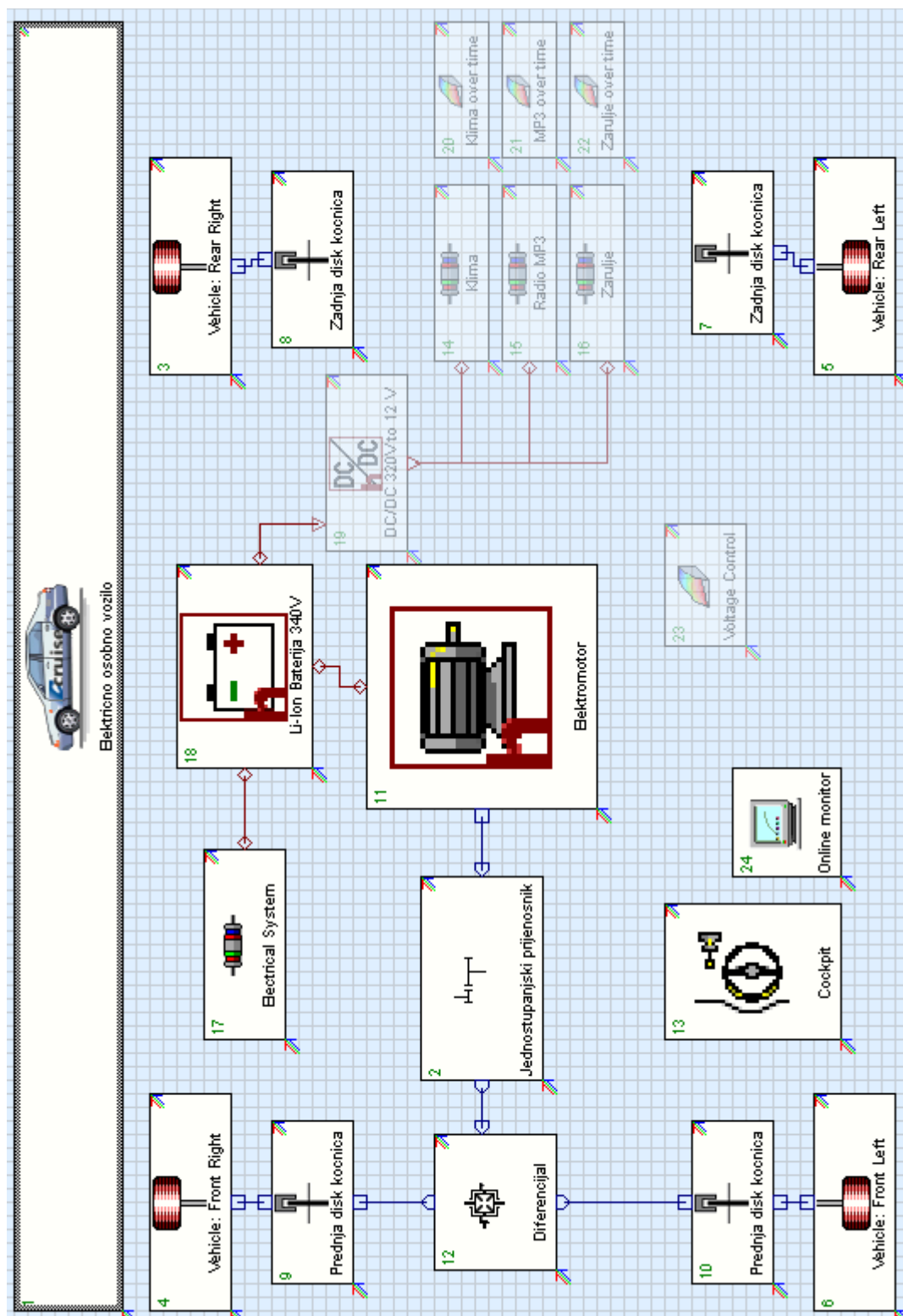
Otvaranjem foldera *Vehicle Model* pojavljuje se radna površina na kojoj se definira model vozila i pokraj nje je smještena pomoćna traka sa svim potrebnim elementima vozila. Princip definiranja vozila je taj da se iz pomoćne trake (Slika 2.2.) uzimaju potrebni dijelovi vozila *drag* and *drop* tehnikom. Za naše osobno vozilo na električni pogon prikaz komponenti vozila i njihov položaj vidi se na slici 2.3.

Komponente koje smo dodali na radnu plohu su sljedeće:

- Vozilo (engl. *Vehicle*)
- Diferencijal (engl. *Differential*)
- Kotač (engl. *Wheel*), 4 komada
- Kočnice (eng. *Brakes*), 4 komada
- Elektromotor (engl. *Electric Machine*)
- Jednostupanjski reduktor (engl. *Single Ratio Transmission*)
- Vozačka kabina (engl. *Cockpit*)
- Monitor
- Baterija (engl. *Battery*)



Slika 2.2. Prikaz komponenti pomoćne trake




Slika 2.3. Položaj komponenti u proračunskom modelu električnog osobnog vozila

## 2.3. Zadavanje fizikalnih karakteristika za električno osobno vozilo

### 2.3.1. Vozilo (engl. Vehicle)



Dvostrukim klikom na ikonu  *Vehicle* na radnoj površini otvara se izbornik sa slike 2.4.

Slika 2.4. Izgled glavnog izbornika za definiranje vozila

U otvorenom izborniku potrebno je unijeti podatke koji su navedeni u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Podaci za model osobnog vozila

Volumen rezervoara(engl. <i>Gas Tank volume</i> )	0 dm <sup>3</sup>
Razlika tlakova motor/okolina	0 mbar
Udaljenost između kuke i prednje osovine	0 mm
Međuosovinski razmak(engl. <i>Wheel Base</i> )	2700 mm
Masa praznog vozila(engl. <i>Curb Weight</i> )	1521 kg
Maksimalna masa vozila(engl. <i>Gross Weight</i> )	1850 kg
Čeona površina vozila(engl. <i>Front Area</i> )	1,97 m <sup>2</sup>
Koeficijent otpora zraka(engl. <i>Drag Coefficient</i> )	0,29

Stanje vozila	udaljenos centra gravitacije od prednje osovine	visin centra gravitacije
Prazno	1350 mm	550 mm
Polu puno	1400 mm	500 mm
Puno	1450 mm	450 mm

Stanje vozila	Tlak u prednjoj gumi	Tlak u stražnjoj gumi
Prazno	2,4 bar	2,4 bar
Polu puno	2,4 bar	2,4 bar
Puno	2,4 bar	2,4 bar

### 2.3.2. Diferencijal

Karakteristike diferencijala nalaze se u tablici:

Tablica 2.2. Karakteristike diferencijala

Naziv	Diferencijal
<i>Notice 1</i>	Prednji
<i>Differential Lock</i>	<i>Unlocked</i>
<i>Torque split factor</i>	1
Ulazni moment inercije	0,0015 kgm <sup>2</sup>
Izlazni moment inercije 1	0,0015 kgm <sup>2</sup>
Izlazni moment inercije 2	0,0015 kgm <sup>2</sup>

### 2.3.3. Kotač (engl. *Wheel*)

U navedenim tablicama nalaze se karakteristike kotača za svaku karticu posebno

Tablica 2.3. Kartica: Kotač (engl. *Wheel*)

Moment inercije	0,57 kgm <sup>2</sup>
Koeficijent trenja	1
Opterećenje kotača referentnog vozila	3260 N
Korekcijski koeficijent opterećenja kotača	0

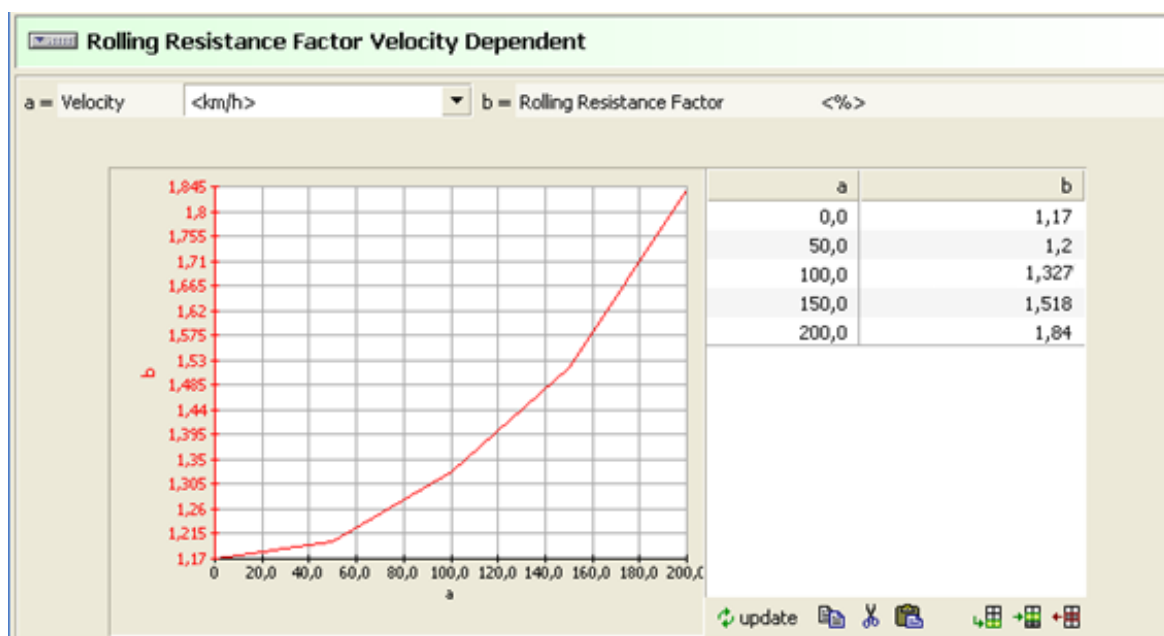


Za dobivanje preciznih rezultata potrebno je unositi karakteristike od postojećih referentnih vozila, a zatim sa korekcijskim koeficijentima simulirati vlastito.

Takva logika zadavanja karakteristika se može naći u cijelom programu i u tom slučaju će rezultati biti bolji. Za naše vozilo korišteni su podaci od Nissan-ovog električnog osobnog vozila Leaf te je korekcijski koeficijent jednak *jedinici*.

Tablica 2.4. Kartica: Radius kotrljanja (engl. Rolling Radius)

Statički radijus kotača	284,35 mm
Opseg kotača za SRK	1786,62 mm
Dinamički radijus kotača	306,47 mm
Opseg kotača za DRK	1925,61 mm



Slika 2.5. Kartica: Koeficijent otpora kotrljanja (engl. Rolling resistance faktor)

### 2.3.4. Kočnice (engl. Breaks)

Tablica 2.5. Karakteristike kočnog diska[2]

Površina cilindra kočnice	1800 mm <sup>2</sup>
Specifični faktor kočenja	1
Stupanj korisnosti	0,99
Moment inercije	0,02 kgm <sup>2</sup>
Koeficijent statičkog trenja	0,25
Efektivni radius trenja	130 mm

Specifični faktor kočenja ovisi o konstrukciji kočnice, za disk kočnice on iznosi 1.

### 2.3.5. Elektromotor (engl. *Electrical Machine*)

Komponenta elektromotora (engl. *Electrical Machine*) može se koristiti i kao motor i kao generator. Potrebno je definirati samo mape jednog i drugog. Zajedno sa baterijom (engl. *Battery H*) i komponentama superkapacitatora, može se simulirati hibridni ili električni sustav. Ikona elektromotora (engl. *Electric Machine*) sadrži dvije komponente, inverter i elektromotor.

Za određivanje snage elektromotora treba uzeti u obzir potrebnu snagu za određenu brzinu navedenog vozila. Otpori koje trebamo uzeti u obzir su otpor kotrljanja, otpor zraka, otpor prijenosna snage. Izračunavanjem navedenih otpora i uvrštavanjem u dijagram u ovisnosti o brzini može se vidjeti kolika je potrebna snaga za određenu brzinu vozila, prema kojoj se poslije konstruira vozilo.

- Otpor kotrljanja ( $F_R$ )

Potrebna snaga za svladavanje otpora kotrljanja:

$$P_{Rk}(v) = F_R \cdot V = f_k \cdot G_v \cdot v$$

Gdje je:

$P_{Rk}$ -potrebna snaga za svladavanje otpora kotrljanja, W

$F_R$ - otpor kotrljanja, N

$v$ - brzina vozila, m/s

$G_v$ - težina vozila, N

$f_k$ - koeficijent otpora kotrljanja

$$f_k = f_{k,1} + f_{k,2} \cdot \left(\frac{v}{100}\right) + f_{k,3} \cdot \left(\frac{v}{100}\right)^4$$

Gdje je:

$v$ - brzina vozila, km/h

$$f_{k,1}=0,009$$

$$f_{k,2}=0,002$$

$$f_{k,3}=0,0003$$

Vrijednost koeficijenata za radijalnu gumu brzinske oznake H (do 210 km/h) pri nazivnom tlaku  $p=2$  bar. [3]

- Otpor zraka ( $R_z$ )

Potrebna snaga za svladavanje otpora zraka:

$$P_z(V) = R_z \cdot v = p \cdot A \cdot C_D \cdot v = 0,5 \cdot \rho \cdot (v + v_0)^2 \cdot A \cdot C_D \cdot v$$

Gdje je:

$P_z$ - snaga potrebna za svladavanje otpora zraka, W

$R_z$ - otpor zraka, N

$v$ - brzina vozila, m/s

$v_0$ - brzina protuvjetra, m/s

$C_D$ - koeficijent otpora zraka

$A$ - površina vozila u presjeku okomitom na dužinu vozila, m<sup>2</sup>

$p$ - tlak zraka, N/mm<sup>2</sup>

$\rho$ - gustoća zraka, kg/m<sup>3</sup>

- Otpori prijenosa snage ( $R_t$ )

Da bi odredili otpore prijenosa snage moramo definirati krivulju snage elektromotora kako bi mogli dobiti njene gubitke u transmisiji, odnosno iskoristivost transmisije.

$$P_t = P_e(v) \cdot (1 - \eta_t) \cdot \frac{60 \cdot v \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r_d \cdot n_{m,Vmax}}$$

Gdje je:

$P_t$ - snaga potrebna za svladavanje otpora prijenosa snage, W

$P_e(v)$ - efektivna snaga motora, W

$v$ - brzina vozila, m/s

$\eta$ - ukupna iskoristivost transmisije

$r_d$ - dinamički radius kotača, m

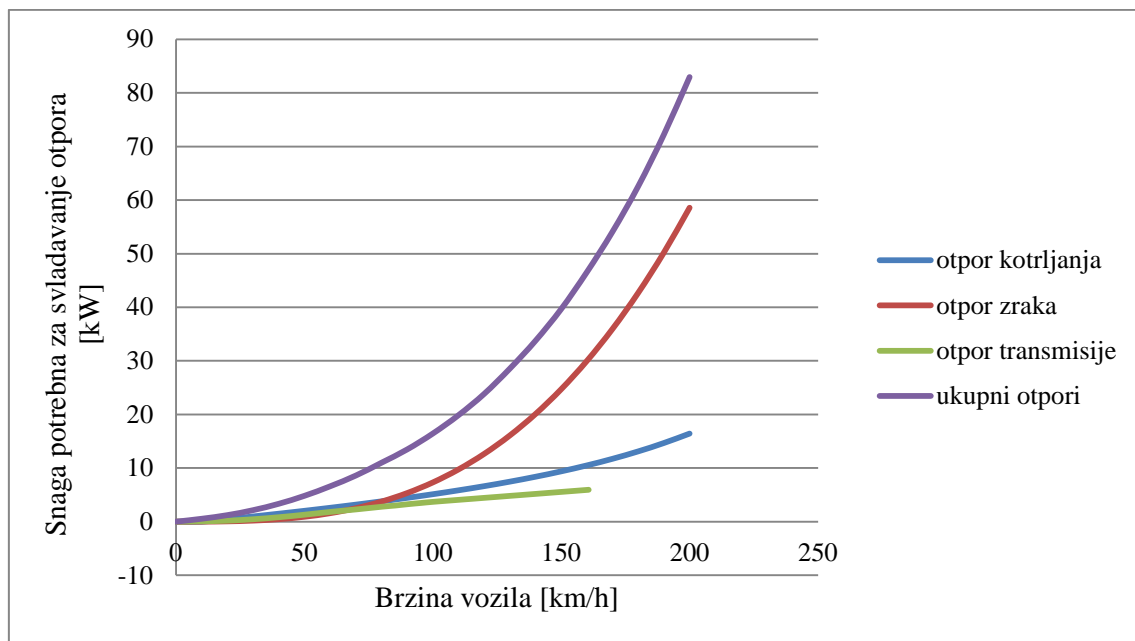
$i$ - prijenosni omjer reduktora

$n_{m,Vmax}$ - brzina vrtnje elektromotora pri  $V_{max}$ , min<sup>-1</sup>

Proračun je izrađen u Excelu i iz njega je izvučen dijagram koji je prikazan na slici 2.6. Podaci korišteni u proračunu nalaze se u tablici 2.6.

Tablica 2.6. Podaci za izračun ukupnih otpora vozila

$f_{k1}$ =	0,009	$C_D$ =	0,29
$f_{k2}$ =	0,002	$r_D$ =	0,3064 m
$f_{k3}$ =	0,0003	$i$ =	5,747
$m_v$ =	1900 kg	$n_{m,Vmax}$ =	8000 o/min
$G_v$ =	18639 N	$\eta$ =	0,93
$\rho_{zraka}$ =	1,227 kg/m <sup>3</sup>	$A$ =	1,92 m <sup>2</sup>



Slika 2.6. Otpori vozila u ovisnosti o brzini vozila

Definiranje karakteristike elektromotora vrši se odabirom ikone

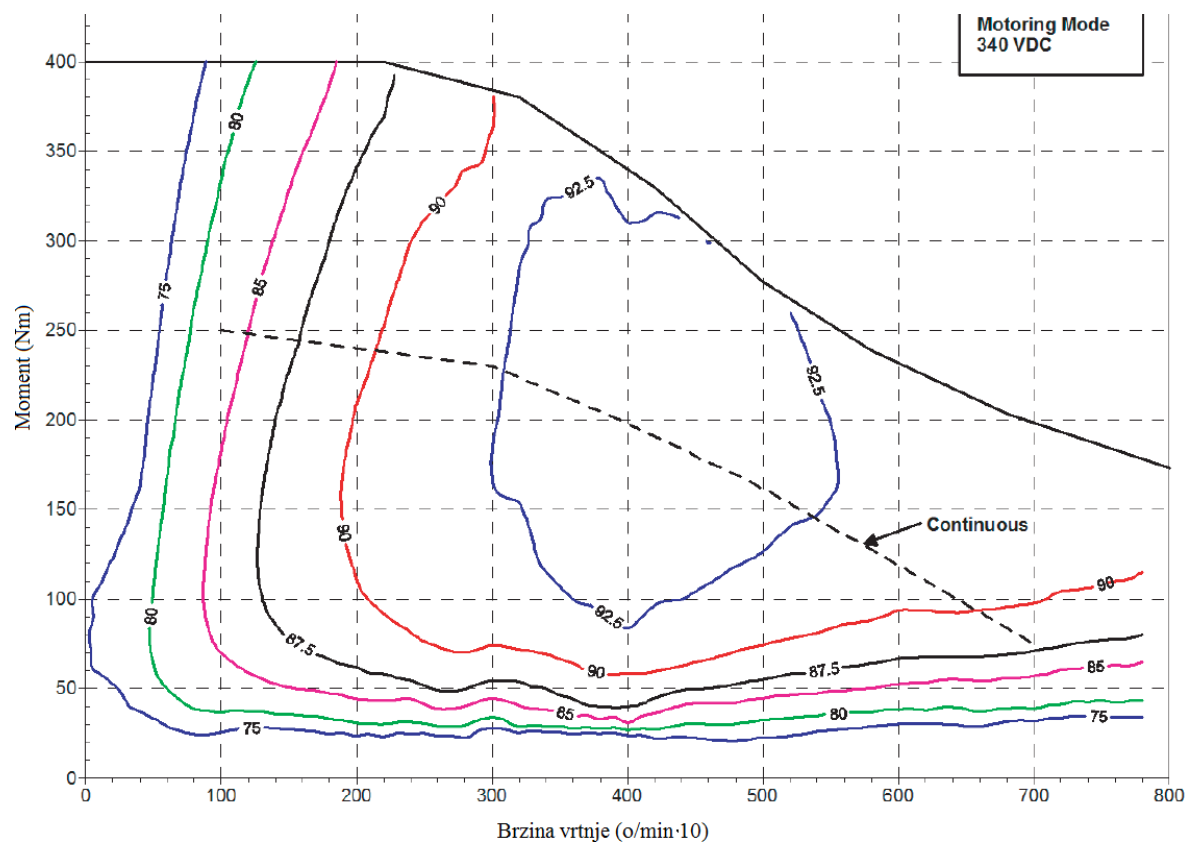


*Electric Machine*

Tablica 2.7. Kartica: Electric Machine

Vrsta elektromotora	ASM (asinkoroni)
Karakteristične mape i krivulje za:	motor
Nazivni napon	340 V
Moment inercije	0,0001 kgm <sup>2</sup>
Maksimalna brzina vrtnje	8000 o/min

Definiranje krivulja elektomotora vrši se pod karticom *Machine Maps* moguće ih je definirati nekoliko na različitim naponima pri čemu je stvarna karakterisitika interpolirana iz definiranih mapa. U programu je korištena jedna mapa  $U_1$  za 360 V . Da bi definirali krivulje elektomotora koristimo Kartezijev koordinatni sustav u kojem se karakterisitike motora definiraju u prvom kvadrantu, a generatora u četvrtom. Prikaz krivulje elektromotora vidi se na slici 2.7.



Slika 2.7. Topografski dijagram elektromotora [4]

Uz krivulju motora potrebno je zadati iskoristivost pri različitim brzinama vrtnje i momentina.

### 2.3.6. Jednostupanjski reduktor (engl. *Single Ratio Transmission*)

Zbog skoro idealne krivulje elektromotora, moment pada sa porastom okretaja, a snaga je na većem dijelu konstantna, nije potrebno stavljati višestupanjski prijenosnik snage. Međutim koristi se jednostupanjski reduktor sa prijenosnim omjerom 5,747. Karakteristike reduktora prikazane su u tablici 2.9.

Tablica 2.8. Karakteristika reduktora

Prijenosni omjer	5,747
Moment inercije na ulazu	0,01 kgm <sup>2</sup>
Moment inercije na izlazu	0,015 kgm <sup>2</sup>

### 2.3.7. Vozačka kabina (engl. *Cockpit*)

Vozačka kabina povezuje vozača i vozilo. U ovoj komponenti vozila veze su uspostavljene samo preko informacija *Dana Bus-a*. Na jednoj strani vozač dobiva informacije o brzini i ubrzanju vozila. Na drugoj strani informacije od vozača, kao što je pozicija pedale gasa, se prenose do komponenti vozila [5].

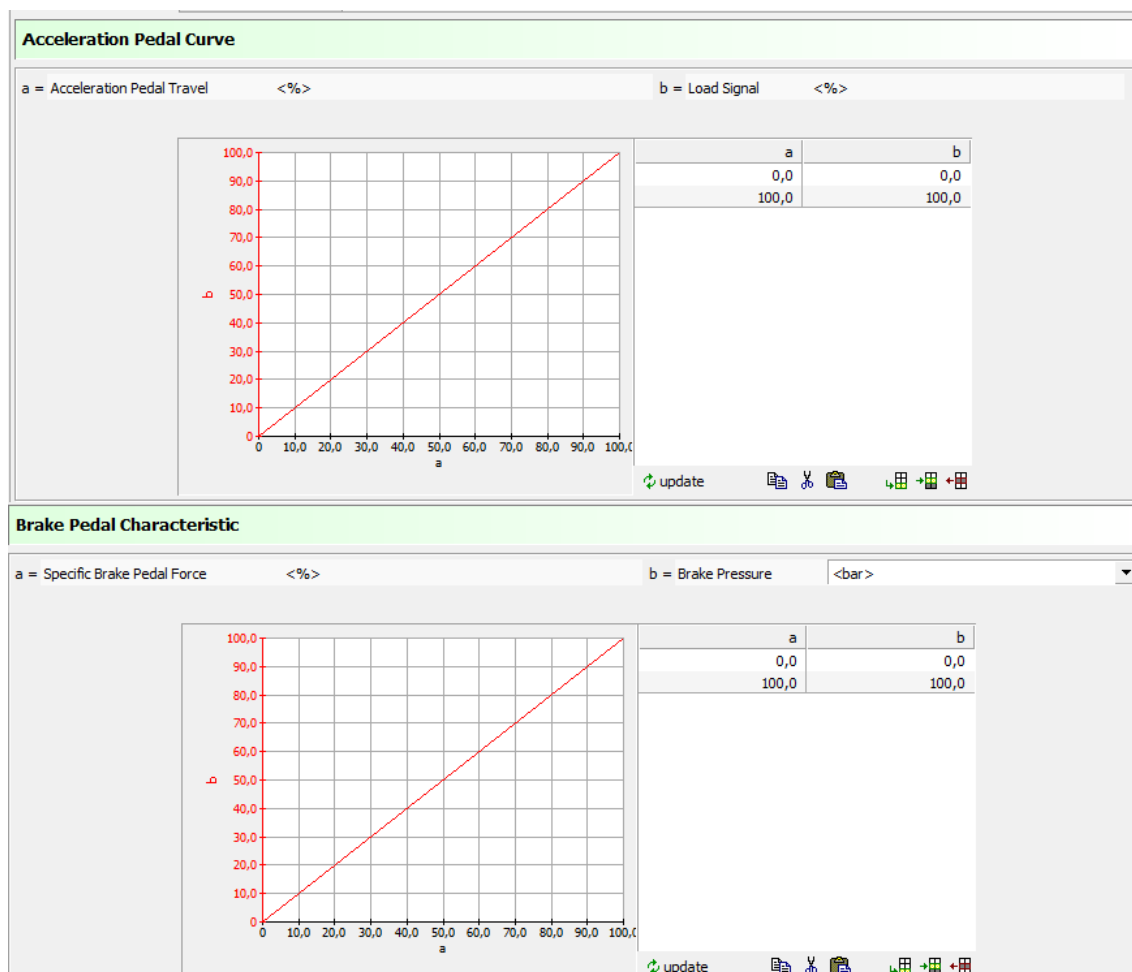
Tablica 2.9. Karakteristike vozačke kabine

Shift Mode	<i>automatic</i>
Broj brzina: Naprijed	1
Broj brzina: Nazad	1
Maksimalna sila kočenja	100 N
<i>Number of Retarder Steps</i>	1 %
<i>Brake Light Switch Threshold</i>	0

Tablica 2.10. Informacijske veze između komponenata (Data bus)

<i>component.....requires</i>	<i>Input information.....from</i>	
<i>Battery H - Li-Ion Baterija 340V</i>	<i>Net Voltage</i>	<i>Set Value X [Electrical Consumer - Electrical System]</i>
<i>Cockpit</i>	<i>Load Signal</i>	<i>Load signal cockpit [Monitor - Online monitor]</i>
	<i>Brake Pressure</i>	<i>Brake Pressure [Brake - Zadnja disk kocnica]</i>
	<i>Brake Pressure</i>	<i>Brake Pressure [Brake - Zadnja disk kocnica]</i>
	<i>Brake Pressure</i>	<i>Brake Pressure [Brake - Prednja disk kocnica]</i>
	<i>Brake Pressure</i>	<i>Brake Pressure [Brake - Prednja disk kocnica]</i>
	<i>Ambient Temperature</i>	<i>Ambient Temperature [Electric Machine - Elektromotor]</i>
	<i>Acceleration Pedal Travel</i>	<i>Load Signal [Electric Machine - Elektromotor]</i>
<i>Electric Machine - Elektromotor</i>	<i>Torque</i>	<i>Torque_eDrive [Monitor - Online monitor]</i>
	<i>Speed</i>	<i>Speed [Cockpit]</i>
	<i>Operating Mode</i>	<i>Gear Indicator [Cockpit]</i>
	<i>Operation Control</i>	<i>Operation Control 0 [Cockpit]</i>
	<i>Temperature - Inverter</i>	<i>Temperature External [Battery H - Li-Ion Baterija 340V]</i>
<i>Map</i>	<i>Klima over time switch</i>	<i>Switch [Electrical Consumer - Klima]</i>
	<i>MP3 over time switch</i>	<i>Switch [Electrical Consumer - Radio MP3]</i>
	<i>Zarulje over time switch</i>	<i>Switch [Electrical Consumer - Zarulje]</i>
<i>Vehicle- Elektricno osobno vozilo</i>	<i>Environment Temperature</i>	<i>Temperature External [Electric Machine - Elektromotor]</i>

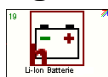
Definirane krivulje papučica gasa i kočnice prikazane su na slici 2.8.



Slika 2.8. Signal ovisan o putu pedale gasa i tlak u kočnici o putu kočnice



### 2.3.8. Baterija (engl. Battery H)

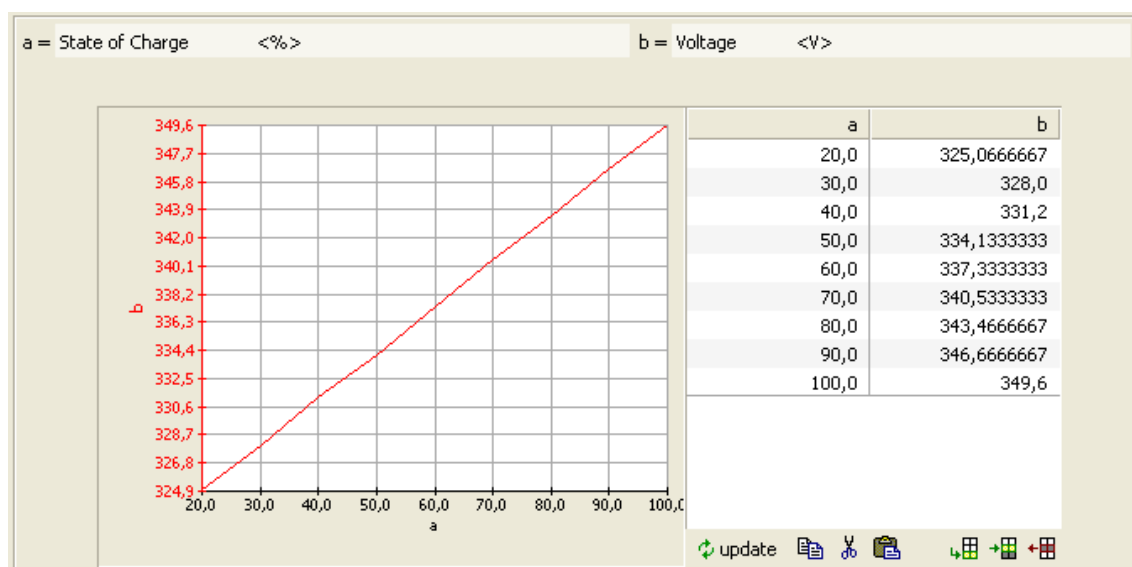


Otvaranjem ikone *Battery H* (baterija za simuliranje hibridnih vozila) potrebno je unijeti podatke kao što su broj ćelija, napon ćelije i kapacitet (Ah) koji pomnožen sa naponom koju elektromotor koristi za određenu potrebnu snagu kretanja vozila, dobivamo iskorištenu energiju vozila za određeni režim vožnje [5]. Prema dobivenoj potrošnji definiramo potrebiti kapacitet baterije i određujemo masu baterije instalirane u vozilo.

U tablici su navedeni podaci uneseni za definiranje baterije (Tablica 2.11)

Tablica 2.11. Karakteristike baterije

Maksimalni naboj	20 Ah
Početni naboj	95 %
Nazivni napon	360 V
Maksimalni napon	448 V
Minimalni napon	324 V
Broj ćelija u jednom redu	1
Broj redova	1
Radna temperatura	25
Unutarnji otpor-prilikom punjenja	0,0205 Ohm
Unutarnji otpor-prilikom pražnjenja	0,0298 Ohm



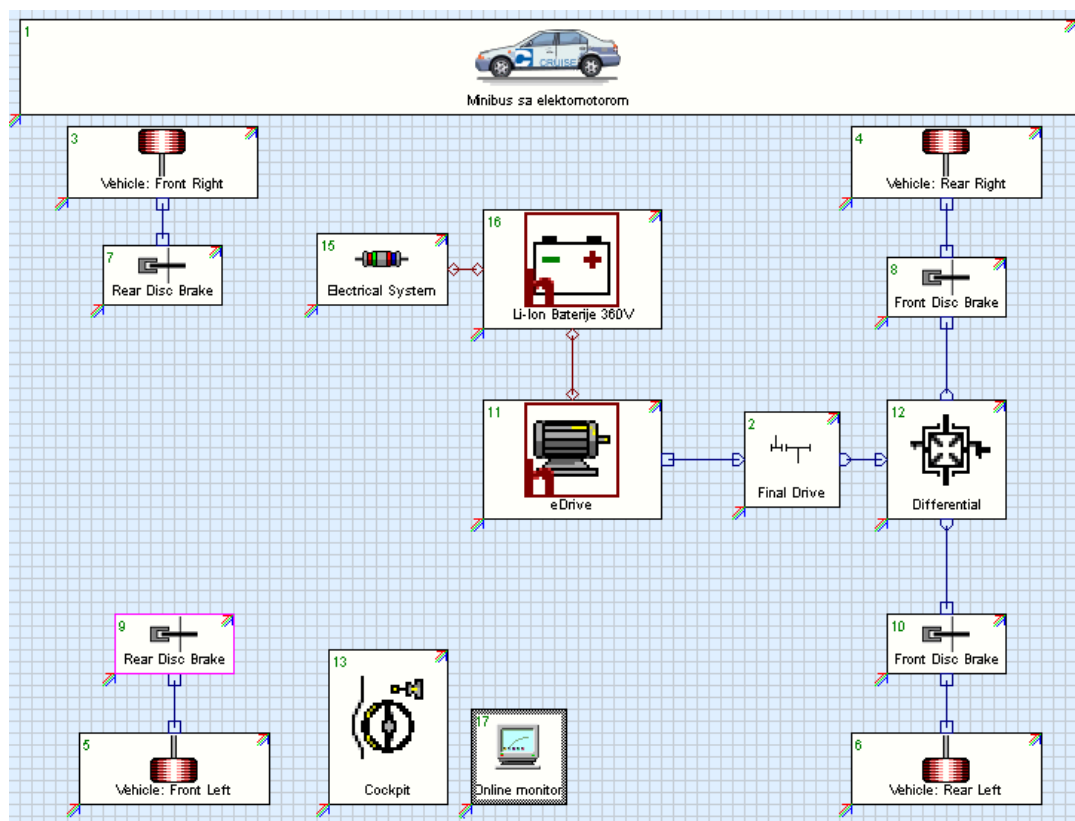
Slika 2.9. Napon u ovisnosti o postotku napunjenosti baterije

## 2.4. Zadavanje fizikalnih karakteristika za minibus sa elektomotorom pogonjenim na baterije

Drugi dio zadatka je definirati komponente minibusa na električni pogon, a da pritom energiju crpi iz instaliranih baterija. Potrebne preinake će se izvoditi na minibusu poznate mase. Izmjenom Diesellovog motora i spremnika goriva sa elektomotorom i potrebnim baterijama utvrdit će se kolika je maksimalna masa baterija, a time i količina energije koju se može instalirati.

Masa praznog minibusa je 3500 kg ako se zamjeni Diesellov motor od 250 kg sa elektomotorom od 115 kg (u što su uračunati kablovi i kontroler) dobiva se razlika od 135 kg. Za spremnik od 150 litara i gustoću dizel goriva od 0,845 kg/l [6] dobiva se iznos mase spremnika od 130 kg. Ako se zbroje te dvije razlike može se vidjeti da masa baterija iznosi 265 kg. Uzevši u obzir da današnje komercijalne litijum-ionske baterije imaju specifični kapacitet od 200 Wh/kg [7] što znači da naše baterije imaju maksimalni kapacitet od 53 kWh. Nosivost busa omogućuje kapacitet od 100 kWh.

Sljedeći korak je definirati komponente vozila, njihov raspored je prikazan na slici 2.10.



Slika 2.10. Komponente električnog minibusa

Potrebno je popuniti sve komponente vozila sa odgovarajućim fizikalnim karakteristikama kao za električno osobno vozilo.

### 2.4.1. Vozilo (engl. *Vehicle*)

Otvaranjem ikone *Vehicle* unosimo podatke iz tablice 2.12.

Tablica 2.12. Podaci za model minibusa

Volumen rezervoara(engl. <i>Gas Tank volume</i> )		0 dm <sup>3</sup>
Razlika tlakova motor/okolina		0 mbar
Udaljenost između kuke i prednje osovine		0 mm
Međuosovinski razmak (engl. <i>Wheel Base</i> )		4700 mm
Masa praznog vozila (engl. <i>Curb Weight</i> )		3500 kg
Maksimalna masa vozila (engl. <i>Gross Weight</i> )		6000 kg
Čeona površina vozila (engl. <i>Front Area</i> )		4,64 m <sup>2</sup>
Koeficijent otpora zraka (engl. <i>Drag Coefficient</i> )		0,35
Koeficijent uzgona na prednoj osovini		0,001
Koeficijen uzgona na stražnjoj osovini		0,001
Stanje vozila	udaljenos težišta od prednje osovine	visin centra gravitacije
Prazno	2340 mm	1150 mm
Polu puno	2350 mm	1100 mm
Puno	2360 mm	1050 mm
Stanje vozila	Tlak u prednjoj gumi	Tlak u stražnjoj gumi
Prazno	3,5 bar	3,5 bar
Polu puno	3,5 bar	3,5 bar
Puno	3,5 bar	3,5 bar

### 2.4.2. Diferencijal

Karakteristike diferencijala nalaze se u tablici:

Tablica 2.13. Karakteristike diferencijala

<i>Comment</i>	Diferencijal
<i>Notice 1</i>	Stražnji
<i>Differential Lock</i>	<i>Unlocked</i>
<i>Torque split factor</i>	1
Ulazni moment inercije	0,03 kgm <sup>2</sup>
Izlazni moment inercije 1	0,03 kgm <sup>2</sup>
Izlazni moment inercije 2	0,03 kgm <sup>2</sup>

### 2.4.3. Kotač (engl. Wheel)

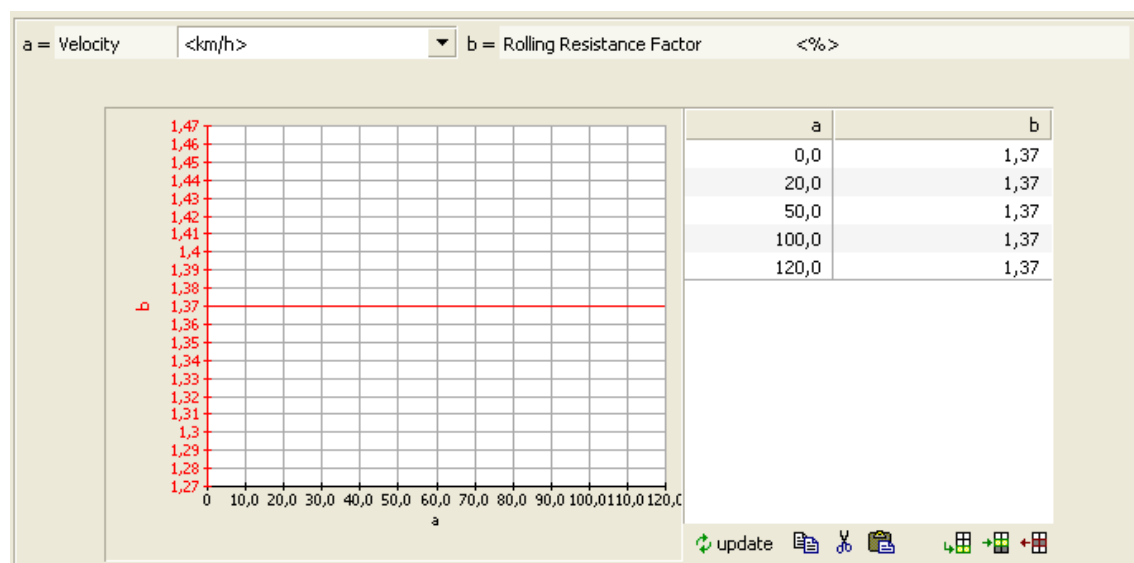
U navedenim tablicama nalaze se karakteristike kotača za svaku karticu posebno

Tablica 2.14. Kartica: Kotač (engl. Wheel)

Moment inercije kotača	2,33 kgm <sup>2</sup>
Koeficijent trenja gume	0,8
Opterećenje kotača referentnog vozila	10000 N
Korekcijski koeficijent opterećenja kotača	0

Tablica 2.15. Kartica: Radius kotrljanja (engl. Rolling Radius)

Statički radijus kotača	349,8 mm
Opseg	2197,86 mm
Dinamički radijus kotača	365,647 mm
Opseg	2297 mm



Slika 2.11. Kartica: Koeficijent otpora kotrljanja (engl. Rolling resistance faktor)

#### 2.4.4. Kočnice (engl. *Breaks*)

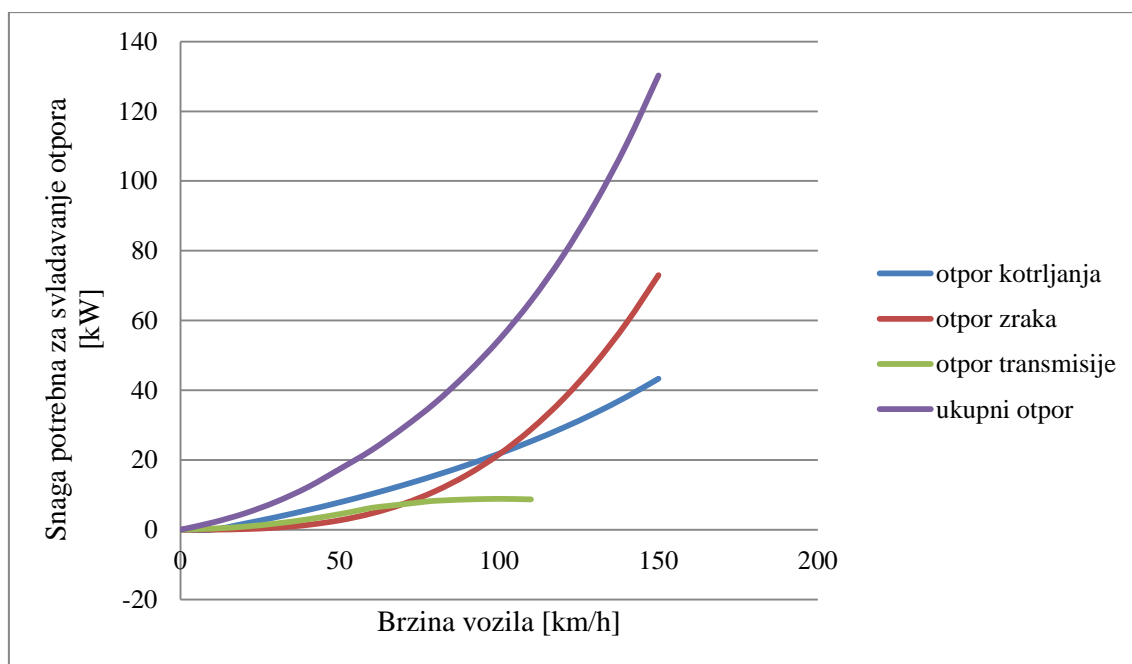
Kočnica instalirana u minibus je Wabco tip kočnice Pan 17, kako je kočnica pneumatska, površina cilindra kočnice nije referentna iz razloga što sadrži pneumatski cilindar koji preko poluge pritišće cilindar kočnice. Stoga je zadana ekvivalentna površina izračunata preko površine membrane pneumatskog cilindra i kraka poluge.

Tablica 2.16. Karakteristike kočnog diska [2]

Površina cilindra kočnice	120446 mm <sup>2</sup>
Specifični faktor kočenja	1
Iskoristivost	0,9
Moment inercije	0,04 kgm <sup>2</sup>
Koeficijent trenja	0,25
Efektivni radius trenja	125 mm

#### 2.4.5. Elektromotor (engl. *Electrical Machine*)

Otpore za minibus računamo prema jednadžbama sa stranice 11. Za definirani oblik i masu minibusa imamo dijagram sa slike 2.13



Slika 2.12. Otpori minibusa ovisni o brzini vozila

Iz dijagrama se vidi da je za minibus potrebno oko 60 kW da bi dostigo brzinu od 100 km/h dok je za auto bilo dovoljno 15 kW. Iz toga zaključujemo da je motor od 115 kW dovoljan, a kasnije iz simulacije programa će se odrediti i maksimalni uspon minibusa.

Proračun je izrađen u *Excelu* prema formulama sa strane 7 iz kojeg je izvučen dijagram prikazan na slici 2.12. Podaci korišteni u proračunu nalaze se u tablici 2.17.

Tablica 2.17. Podaci za izračun ukupnih otpora vozila

$f_{k1}=$	0,09	$C_D=$	0,35
$f_{k2}=$	0,002	$r_D=$	0,3656 m
$f_{k3}=$	0,0003	$i=$	6,8
$m_v=$	6000 kg	$n_{m,Vmax}=$	5500 o/min
$G_v=$	58860 N	$\eta=$	0,90
$\rho_{zraka}=$	1,227 kg/m <sup>3</sup>	$A=$	4,7 m <sup>2</sup>

Definiranje karakteristike elektromotora vrši se odabirom ikone

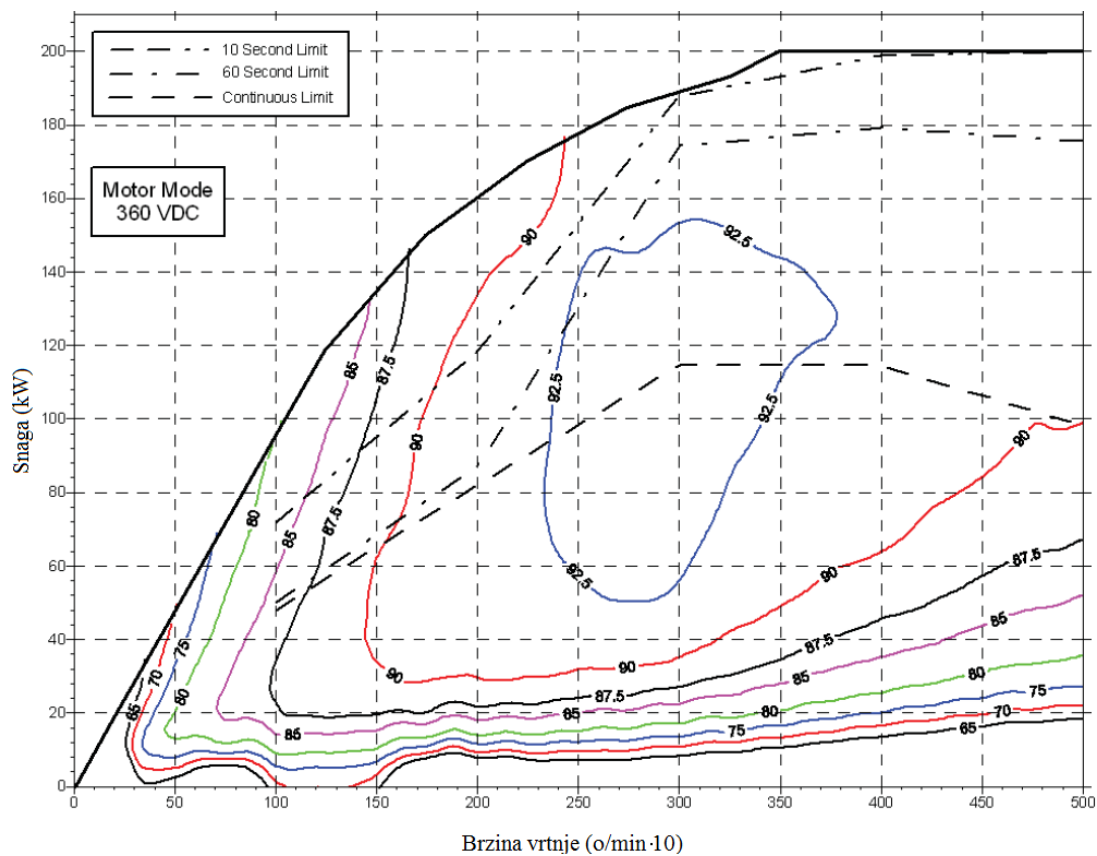


*Electric Machine* i ispuštavanjem polja prikazanih u tablici 2.18.

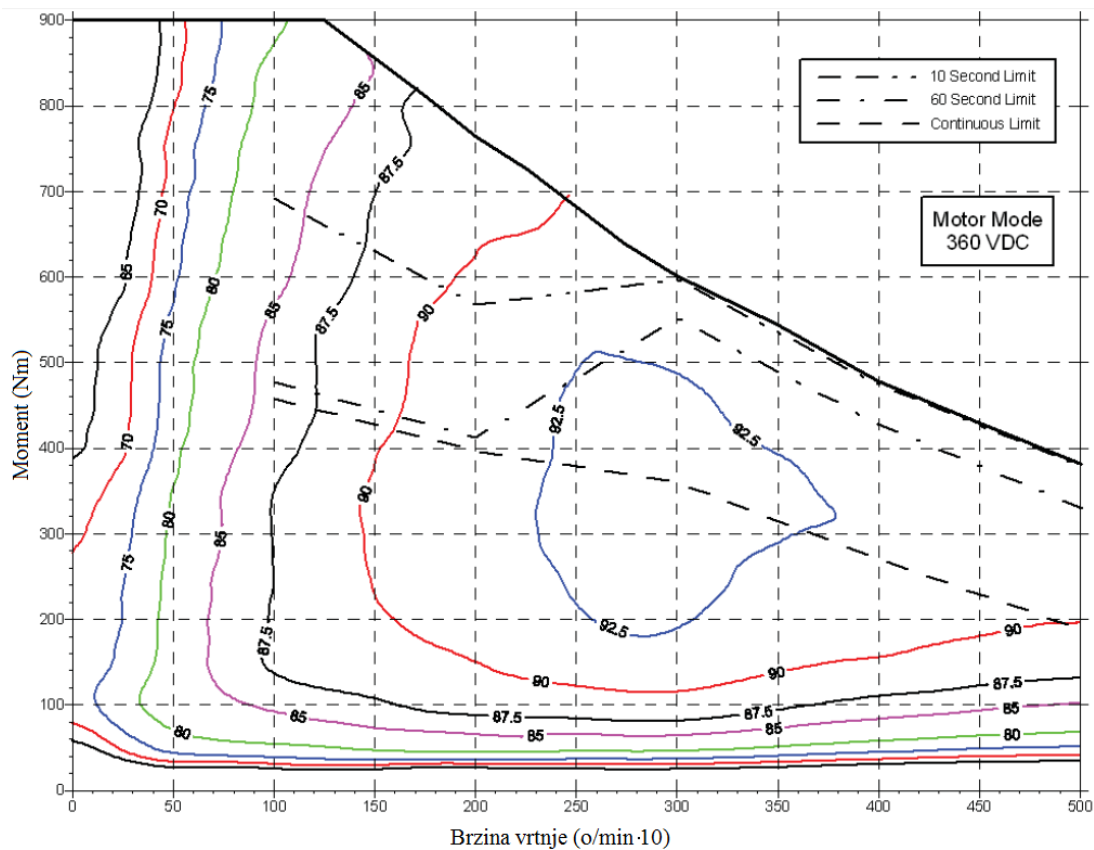
Tablica 2.18. Kartica: Electric Machine

Vrsta elektromotora	ASM(asinkoroni)
Charachteristicks Maps and Curves	mottor
Nazivni napon	340 V
Moment inercije	0,0004 kgm <sup>2</sup>
Maksimalna brzina vrtnje	55000 o/min
Temperatura	55 °C

Definiranje krivulja elektromotora vrši se pod karticom *Charachteristic Maps of Machines* potrebno je unjeti odgovarajuće karakteristike momenta u ovisnosti o brzini vrtnje. Efikasnost elektromotora također je potrebno unjeti, a iščitana je iz dijagrama na slici 2.14.



Slika 2.13. Topografski dijagram za snagu i iskoristivost



Slika 2.14. Topografski dijagram za moment i iskoristivost

#### 2.4.6. Jednostupanjski prijenosnik (engl. *Single Ratio Transmission*)

Zbog skoro idealne krivulje elektromotora, moment pada sa porastom okretaja, a snaga je na većem dijelu relativno konstantna, nije potrebno stavljati višestupanjski prijenosnik snage. Međutim koristi se jednostupanjski reduktor sa prijenosnim omjerom 5,747. Karakteristike reduktora prikazane su u tablici 2.20.

Tablica 2.19. Karakteristika reduktora

Prijenosni omjer	6,8
Moment inercije na ulazu	0,01 kgm <sup>2</sup>
Moment inercije na izlazu	0,015 kgm <sup>2</sup>

#### 2.4.7. Vozačka kabina (engl. *Cockpit*)

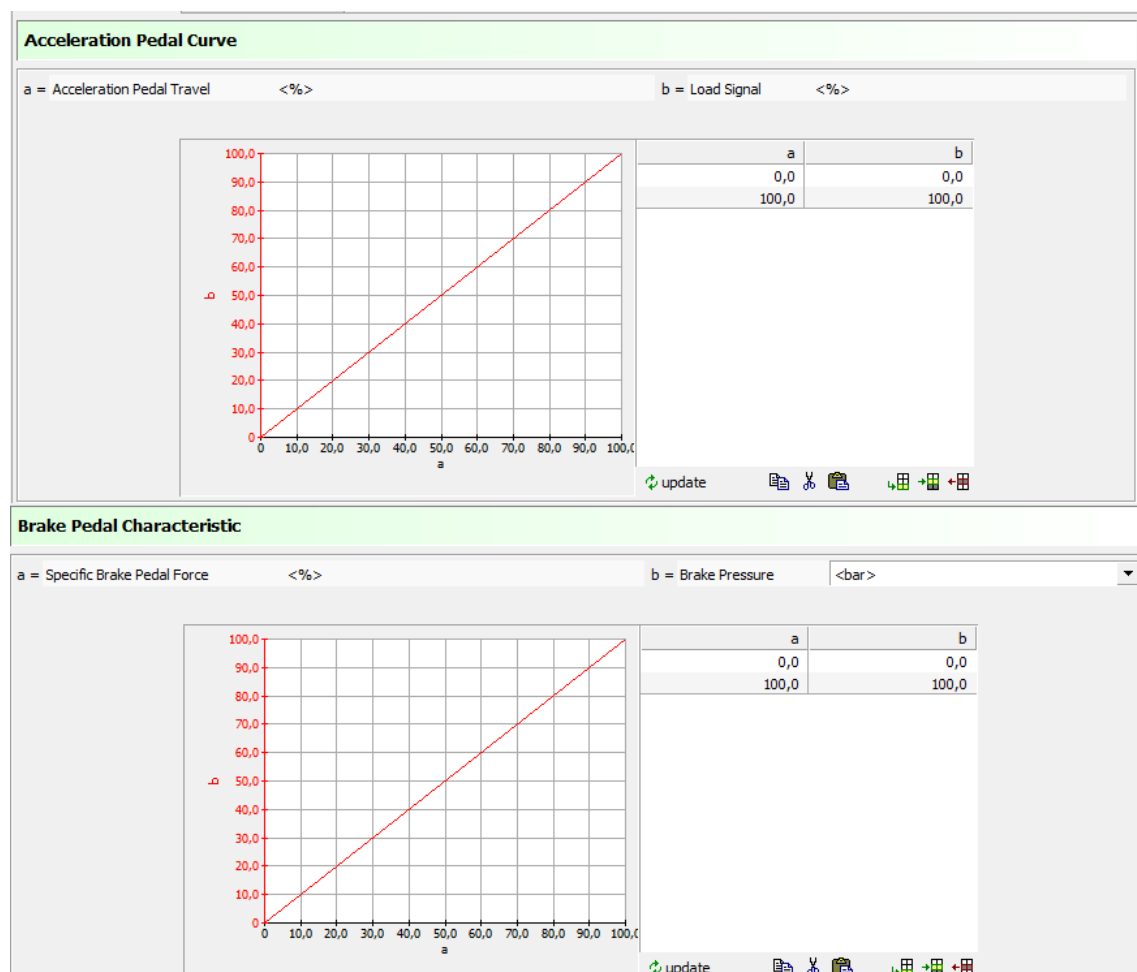
Vozačka kabina povezuje vozača i vozilo. U ovoj komponenti vozila veze su uspostavljene samo preko informacija *Data Bus-a*. Na jednoj strani vozač dobiva informacije o brzini i ubrzanju vozila. Na drugoj strani informacije od vozača, kao što je pozicija pedale gasa, se prenose do komponenti vozila [5].

Tablica 2.20. Karakteristike vozačke kabine

Shift Mode	automatic
Number of Gears: Forward	1
Number of Gears: Reverse	1
Maximum brake force	300 N
Number of Retarder Steps	1 %
Brake Light Switch Treshold	0




Definirane krivulje papučica gasa i kočnice prikazane su na slici 2.15.



Slika 2.15. Signal ovisan o putu papučice gasa i tlak u kočnici o putu kočnice Baterija (engl. Battery H)



Otvaranjem ikone  Battery H potrebno je unijeti podatke kao što su broj ćelija napon ćelije i kapacitet (Ah) koji pomnožen sa naponom koju elektromotor koristi za određenu potrebnu snagu kretanja vozila, dobivamo iskorištenu energiju vozila za određeni režim vožnje [5]. Prema dobivenoj potrošnji definiramo potrebni kapacitet baterije i određujemo masu baterije instalirane u vozilo.

U tablici su navedeni podaci uneseni za definiranje baterije





Tablica 2.21. Karakteristike baterije

Maksimalni naboj	230 Ah
Početni naboj	95 %
Nazivni napon	360 V
Maksimalni napon	448 V
Minimalni napon	324 V

Broj ćelija u jednom redu	1
Broj redova	1
Radna temperatura	55
Unutarnji otpor-prilikom punjenja	0,0205 Ohm
Unutarnji otpor-prilikom pražnjenja	0,0298 Ohm

## 2.5. Povezivanje komponenti vozila

Za povezivanje komponenti vozila koriste se dva glavna oblika veza, a to su energetske i informacijske veze. Energetske veze su definirane linijama između ikona dok su informacijske definirane u *Data Bus-u* koji se nalazi na dnu ekanu, potrebno je dvaput kliknuti na trobojnu liniju (crvena, zelena, plava). Prikaz ikona svih veza vidi se na slici 2.16.

Energetic Connections		Mechanical Connection
		Exhaust Connection
		Electrical Connection
Informational Connection		Informational Connection

Slika 2.16. Veze između komponenti vozila

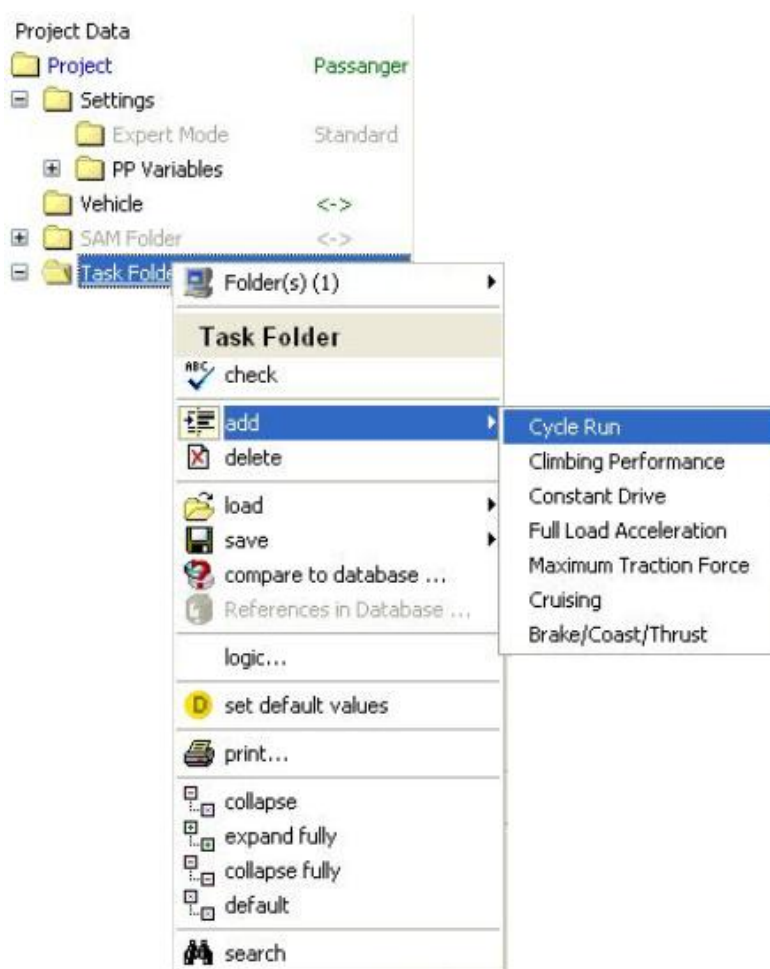


Slika 2.17.. Primjeri veza na komponentama [5]

## 2.6. Proračunski zadaci (engl. Project Data)

Za testiranje potrebno je zadati određene zadatke koje vozilo mora izvršiti, ovisno o onome što se želi ispitivati na vozilu. Kako bi to napravili potrebno je desnim klikom miša na ikonu *Project Data* | *Add* te odabrati *Task Folder*. U novootvorenoj datoteci desnim klikom miša odabire se koji *Computational Task* želimo od ponuđenih:

- *Constant drive*
- *Climbing Performance*
- *Full Load Acceleration*
- *Maximum Traction Force*
- *Brake/ Coast/ Thrust*
- *Cycle Run*
- *Cruising*
- *System Analysis*



Slika 2.18. Prikaz dodavanja zadatka

### 2.6.1. Vožni ciklus (engl. Cycle Run)

Vozilo se podvrgava simulaciji vožnje pri određenom profilu brzine kretanja. Određuju se uvjeti u kojima se odvija ciklus kao što su brzina kretanja, stupanj prijenosa, brzina vjetra, vremenski uvjeti, koji se kroz ciklus konstantno izmjenjuju. Ciklus se provodi u ovisnosti o vremenu. Da bi se definirao zadatak potrebno je odrediti karakteristike vozača (engl. *Driver*), profil vožnje (NEDC, Ftp\_75) i uvjete vožnje (engl. *Course*).

Tablica 2.22. Definirane karakteristike za profil NEDC

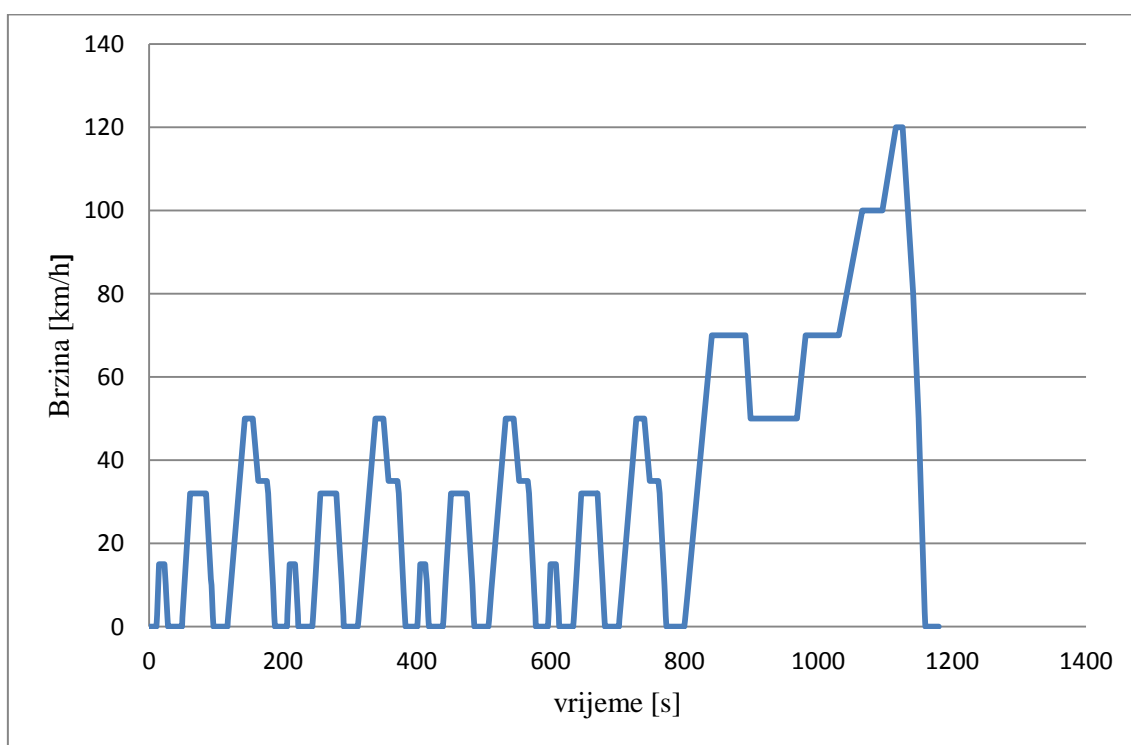
Ime ciklusa	NEDC
Otpori vožnje	physical (računa se zadanim fizičkim karakteristikama)
Prebacivanje u višu brzinu mjenjača	Prema profilu
Prebacivanje u nižu brzinu mjenjača	Prema profilu
Vozač (engl. <i>Driver</i> )	Standard (odabire se iz baze podataka programa)
<i>Course</i>	Standard (Odabire se iz baze podataka programa)
<i>Profile Definition</i>	U ovisnosti o vremenu
<i>Profile Model</i>	Standardni
Profil u ovisnosti o vremenu	NEDC_automatik

U glavnom izborniku *Cycle Run*-a u polju *Driver* otvaranjem foldera može se odabrati standardni profil vozača sa svim karakteristikama

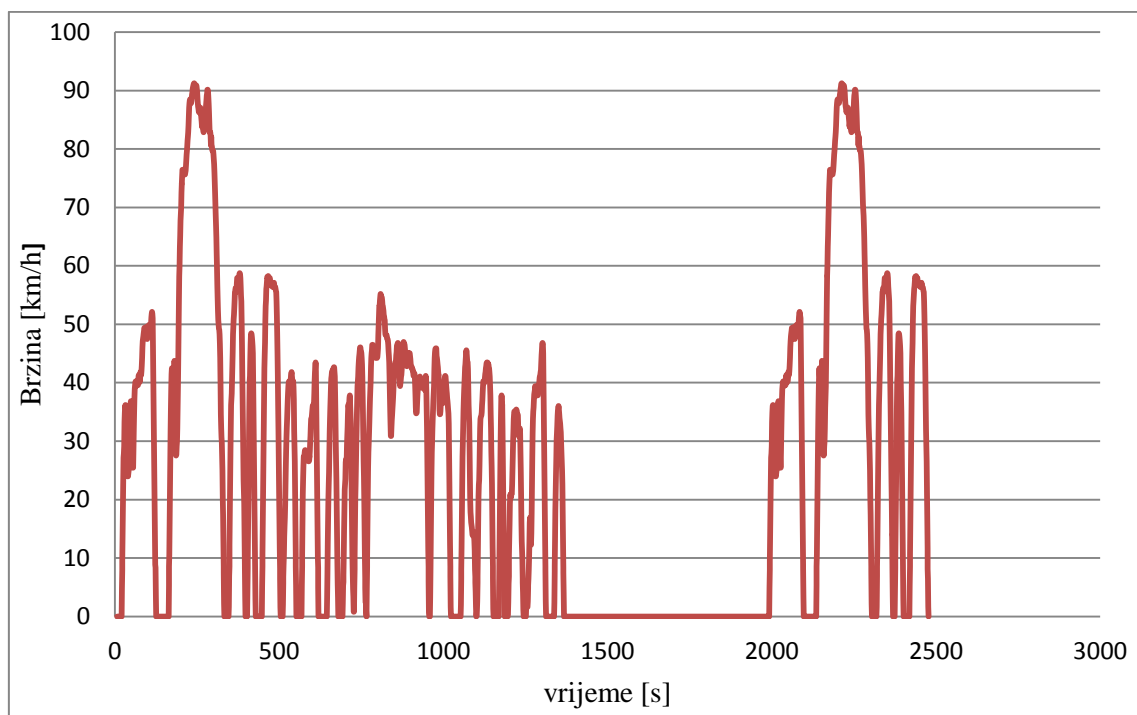
Vozač (engl. <i>Driver</i> )	
Maksimalna sila na kočnici	200 N
Pedala kočnice u stanju mirovanja	50%
Starting-testlike	
Launch Speed =4000 o/min	Vrijeme otpuštanja spojke= 0,25 s
Starting-costumlike	
Launch Speed= 1200 o/min	
Gear Shifting	
Shifting Time=0,3 s	Gear Change=50 %
Acceleration Pedal Off=28 %	Acceleration pedal On=72 %
Clutch Pedal On=30 %	Clutch Pedal Off=80 %

Course		
Temperatura i vlažnost zraka	20 °C	0,65%
Gustoća zraka ili tlak	1,19 kg/m <sup>3</sup>	
Visina	0 m	
Brzina vjetra	0 km/h	
Koficijen trenja	1	

Da bi definirali put vozila potrebno je odabrati profil kretanja brzine u vremenu, za to postoje dva standardna i najčešće korištena profila u autoindustriji, NEDC i FTP75 prikazan na slici 2.19. i slici 2.20.



Slika 2.19. Karakteristika profila NEDC



Slika 2.20. Profil ciklusa Ftp\_75

### 2.6.2. Ubrzanje pri najvećem opterećenju (engl. Full Load Acceleration)

Karakteristike vozača i vanjski uvjeti i ovdje su zadani kao standardni. U polje ubrzanja je uneseno početna brzina, krajnja brzina i međukoraci.

Tablica 2.23. Mjerne točke brzina

Početna vrijednost	Krajnja vrijednost	Korak
0 km/h	150 km/h	5 km/h

### 2.6.3. Svladavanje uspona (engl. Climbing performance)

Rezultati ove simulacije nam govore koliki je maksimalni uspon koje vozilo može savladati, pri tome se prati u kojoj brzini vrtnje motora se nalazi i kojim brzinom se kreće.

Tablica 2.24. Mjerne točke brzine za uspon

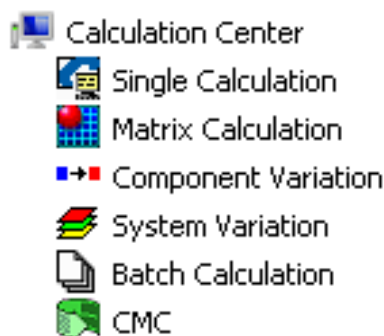
Početna vrijednost	Krajnja vrijednost	Korak
5 km/h	150 km/h	5 km/h

### 2.6.4. Kočenje (engl. Break)

Simulira se zaustavni put kočenja s početnom brzinom od 100 km/h

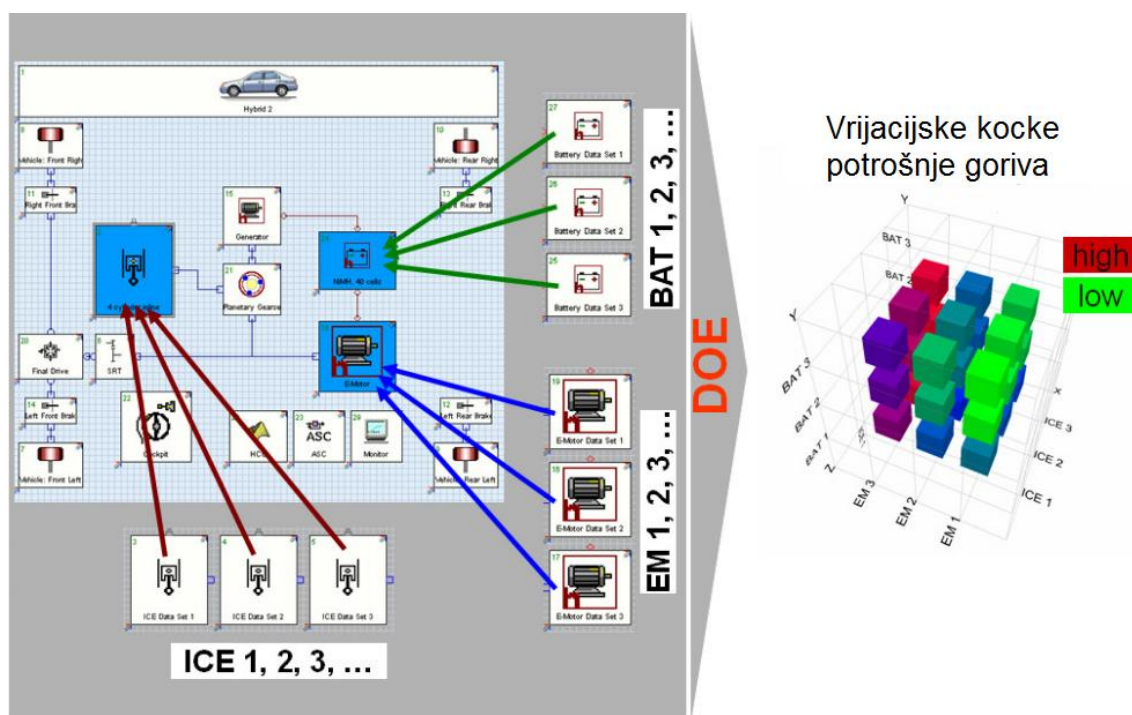
### 3. REZULTATI

Nakon što se definira vozilo sa odgovarajućim energetske i informacijske veze, a potom i odabere profil vožnje ili neki drugi zadatak iz *Task Managera* možemo krenuti sa simulacijom. Pod ikonom Calculation Center potrebno je odabrati odgovarajući način proračuna informacija. Prikaz mogućih kalkulacija vidi se na slici 3.1..



Slika 3.1. Izbornik centra za računanje simulacije

Ukoliko imamo samo jednodimenzijску radnu površinu bez ikakvih varijacija sa komponentama koristi se *Single Calculation*. *Matrix Calculation* se koristi da bi efektivno odredili utjecaj promjene vrijednosti unosnih parametara na performanse vozila, potrošnje i emisije plinova. Ukoliko želimo raditi varijacije sa potpuno novim komponentama, ne samo određenim vrijednostima koristimo funkciju *Component Variation*. Prikaz rada ove funkcije vidi se na slici 3.2..

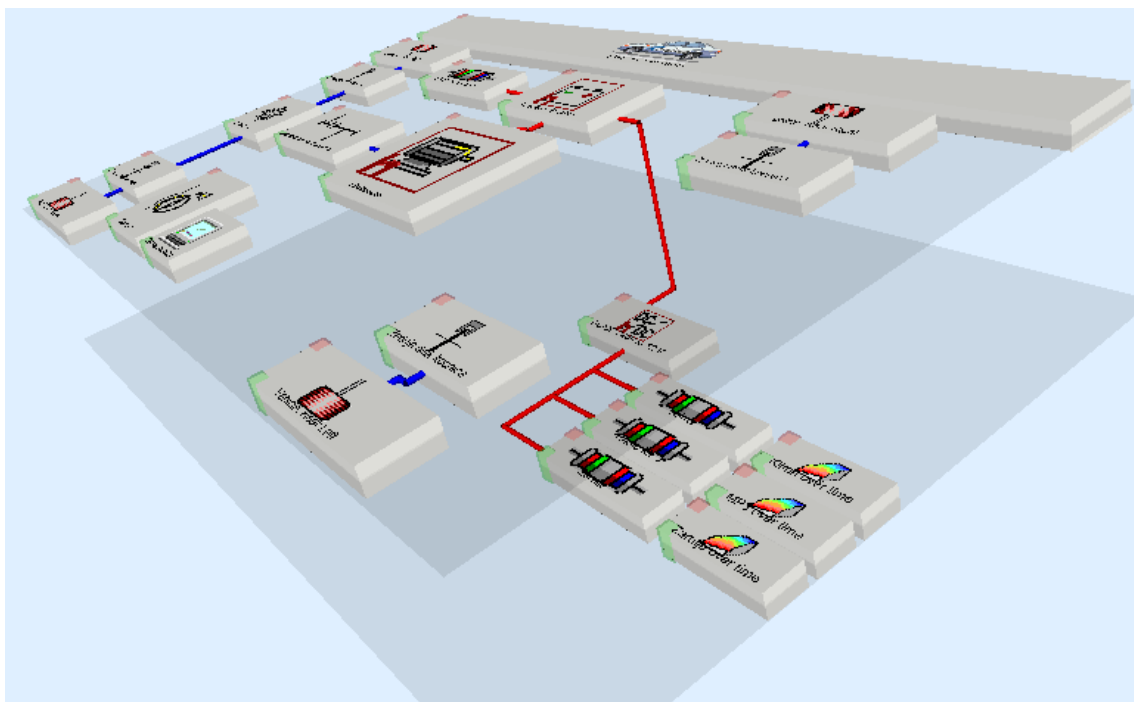


Slika 3.2. Način rada Component Variation funkcije [8]



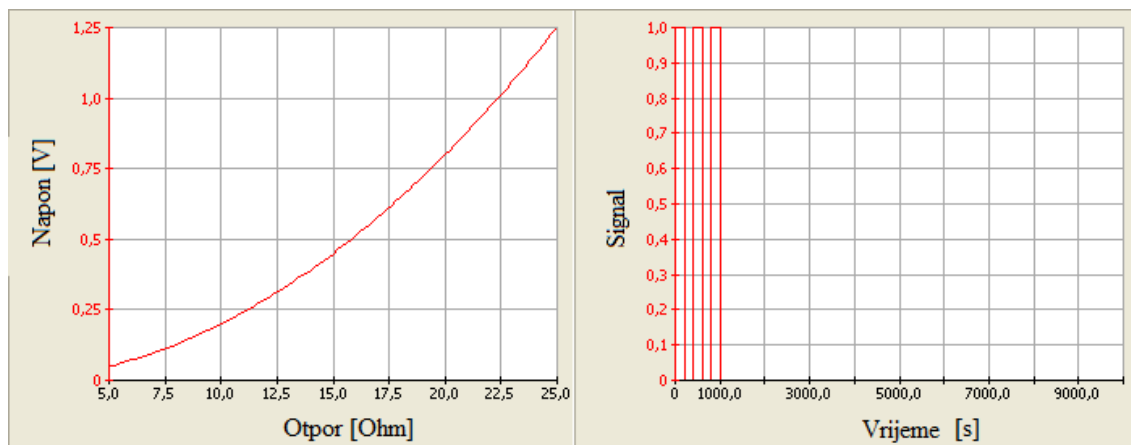
### 3.1. Električno osobno vozilo

Za naše vozilo koristili smo sistemske varijacije (engl. *System Variation*). Način rada sistemskih varijacija je baziran na tome da se stvori dodatni sloj radne površine na koji se stavljaju komponente koje su drugačijeg rasporeda ili funkcije te ih potom povežemo sa prvim slojem. Prikaz korištene sistemske varijacije vidi se na slici 3.3.

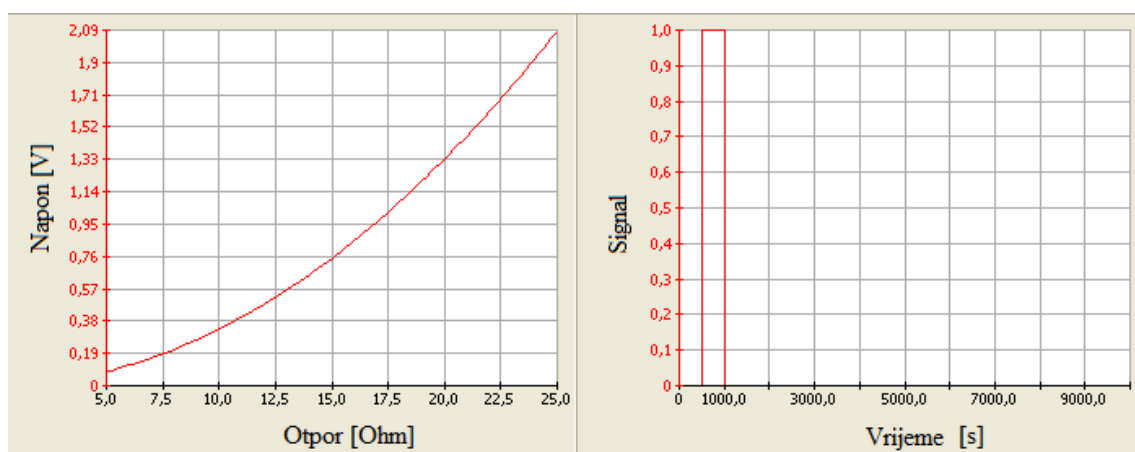


Slika 3.3. Prikaz 3D modela sistemske varijacije

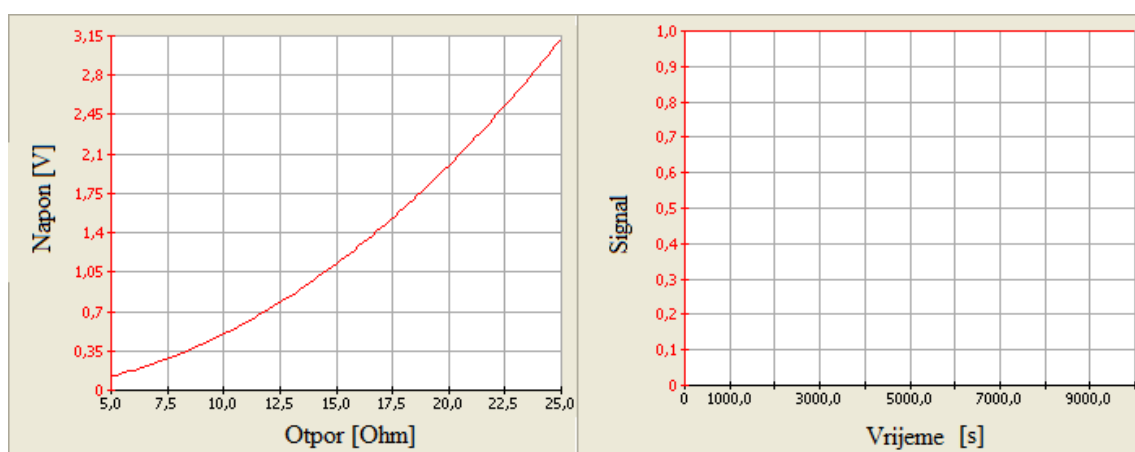
Za naše vozilo koriste ne su dvije varijacije jedna sa svim komponenta potrebnim za vožnju, a druga sa potrošačima kao što su klima, radio i žarulje. Potrošači su spojeni na bateriju preko DC/DC pretvarača napona. Karakteristike pojedinih otpora prikazane su na slikama:



Slika 3.4. Karakteristike potrošača klima uređaja

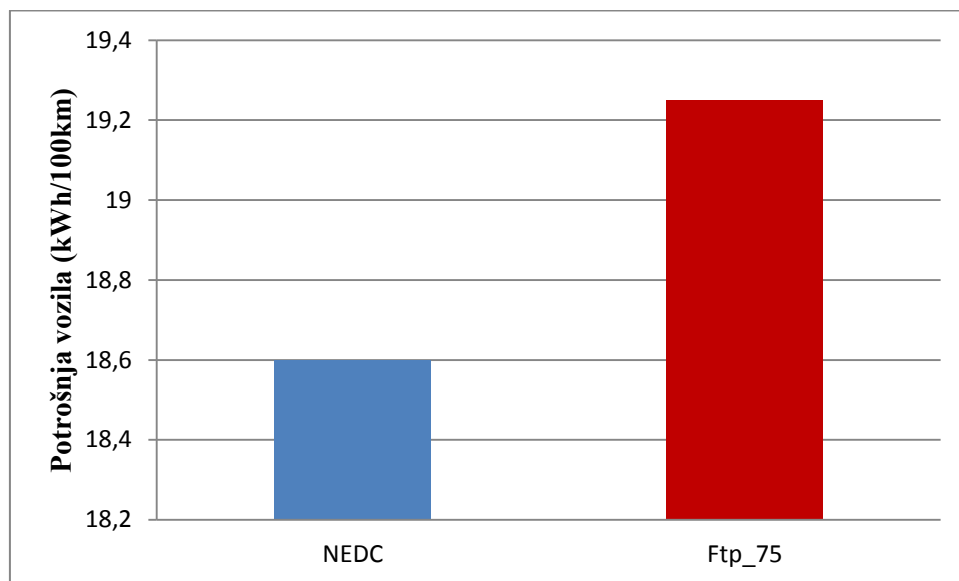


Slika 3.5. Karakteristike potrošača radio uređaja

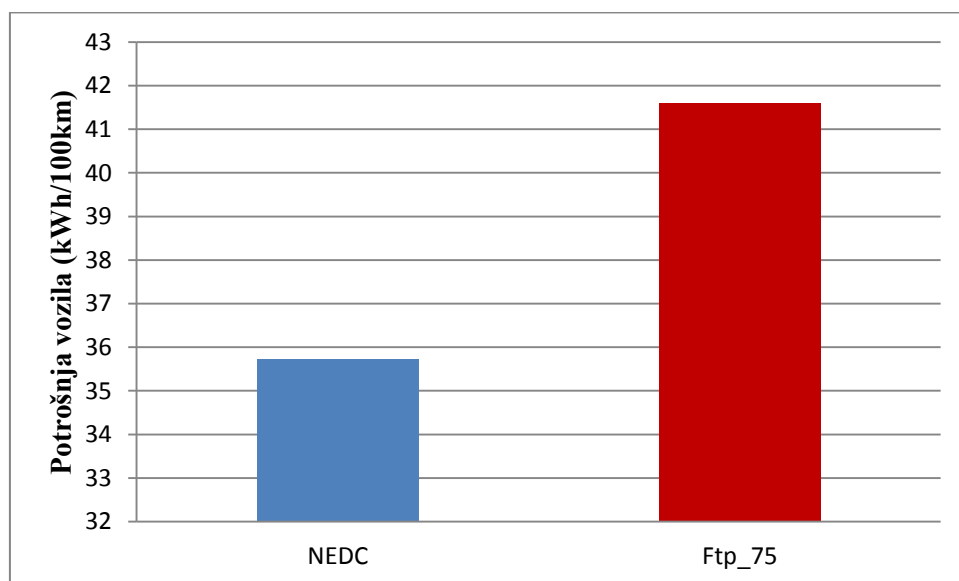


Slika 3.6. Karakteristike potrošača žarulja

Rezultati koje smo dobili korištenjem više *Task folder* operacija nalaze se na slikama koje sljede.



Slika 3.7. Prikaz potrošnje po NEDC-u i Ftp\_75



Slika 3.8. Prikaz potrošnje varijacije sa uključenim potrošačima prema NEDC-u i Ftp\_75

Ekvivalent potrošnje dizelskog goriva donje ogrijevne vrijednosti 39 MJ/l [3] iznosi za auto bez uljučenih potrošača:

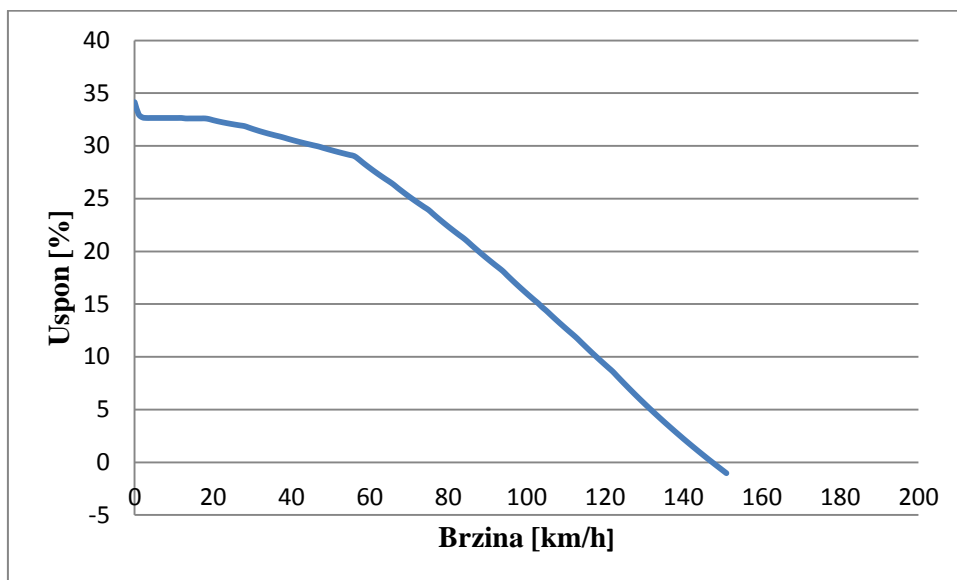
Prema NEDC-u	1,7 l/100km
Prema Ftp_75	1,8 l/100km

Sa potrošačima:

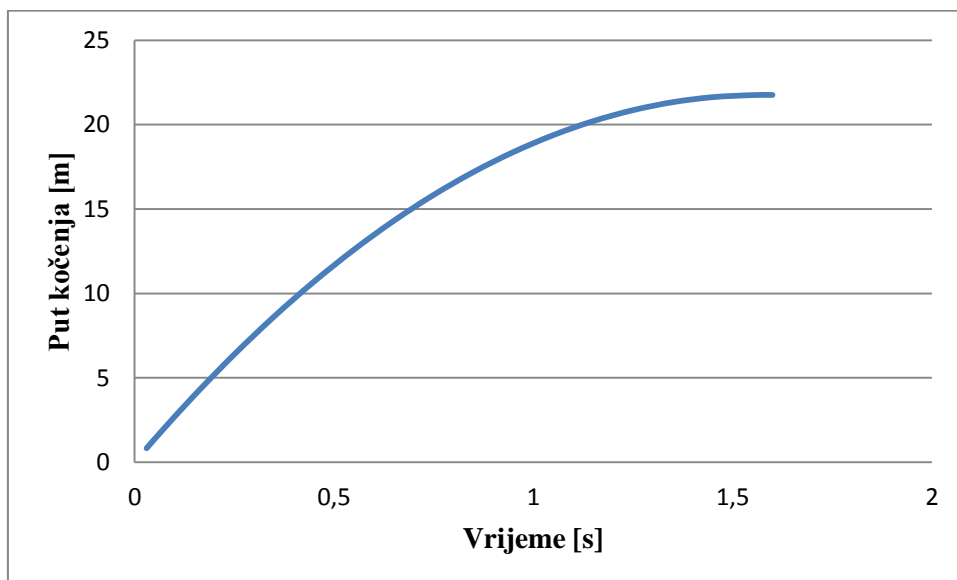
Prema NEDC-u	3,3 l/100km
Prema Ftp_75	3,8 l/100km

Za prosječnu potrošnju od 30 kWh/100 km i kapacitetom baterija od 24 kWh prijedeni put vozila sa jednim punjenjem iznosi 80 km. Prema neslužbenim podacima tvrtke Nissan prosječna udaljenost koju prevale u jednom danu državljanin Japana i SAD- u osobnom vozilu iznosi 60 km.

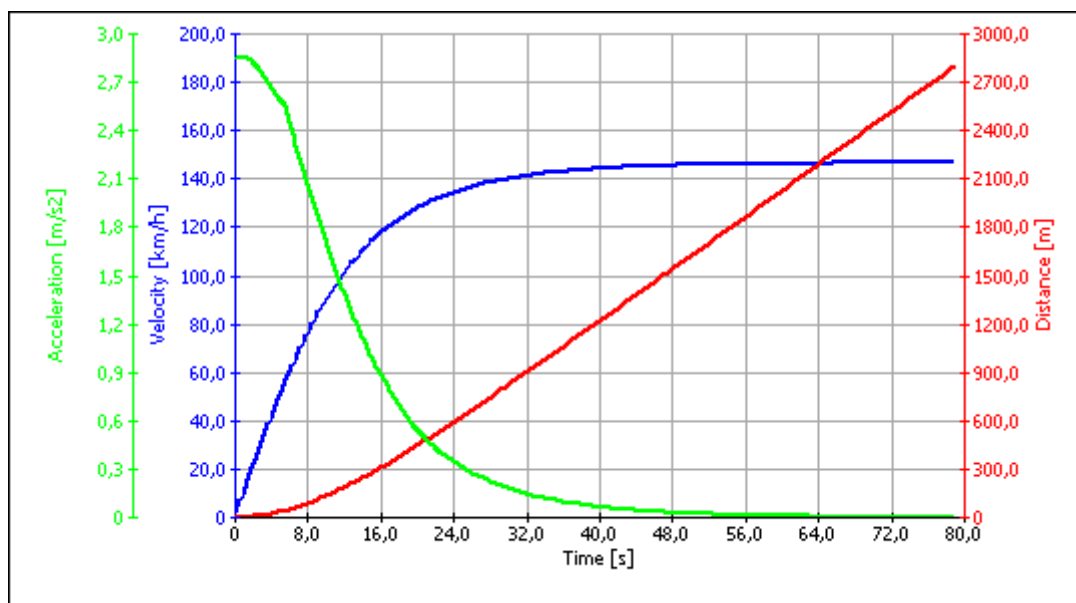
Na slikama su prikazani dijagrami koji su izvučeni iz ostalih proračunskih zadataka, prikazani su maksimalni uspon vozila u ovisnosti o brzini i zaustavni put kočenja.



Slika 3.9. Uspon koji vozilo može savladati u ovisnosti o brzini vozila



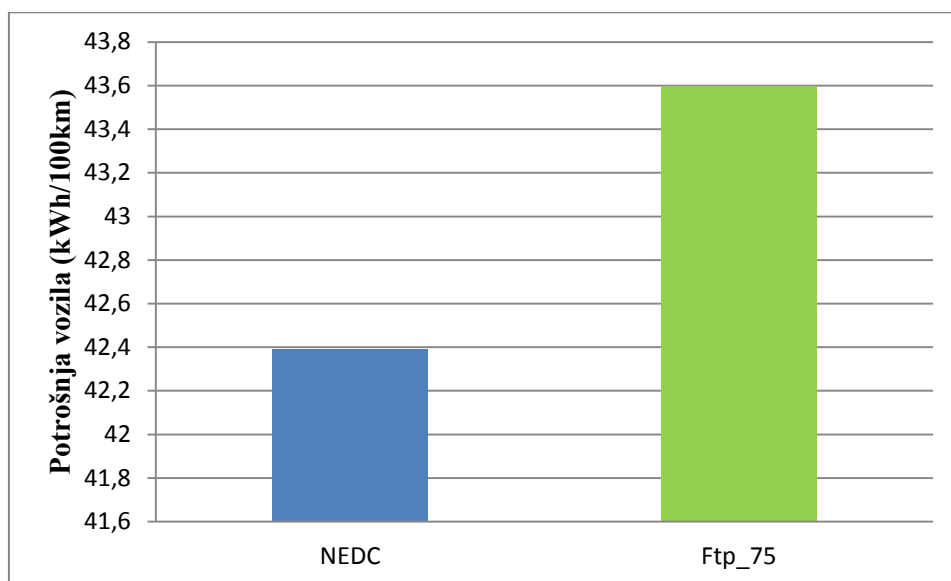
Slika 3.10. Zaustavni put kočenja sa početne brzine od 100 km/h



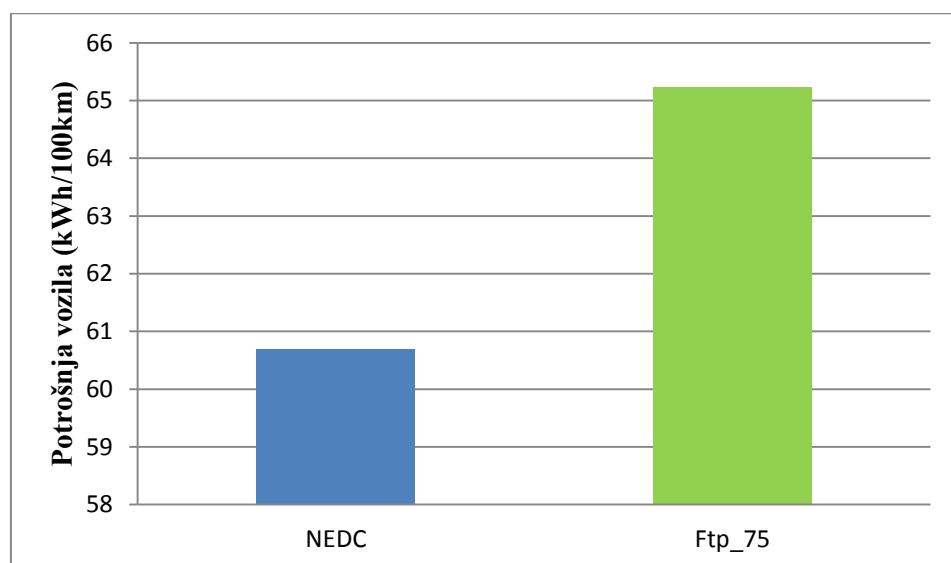
Slika 3.11. Ubrzanje električnog osobnog vozila

### 3.2. Električni minibus na baterije

Za određivanje potrošnje minibusu korištena su dva scenarija jedan u slučaju da je minibus prazan, a drugi da je potpuno pun.



Slika 3.12. Potrošnja minibusu po izračunu dvaju ciklusa u praznom stanju



Slika 3.13. Potrošnja minibusu po izračunu dvaju ciklusa u punom stanju

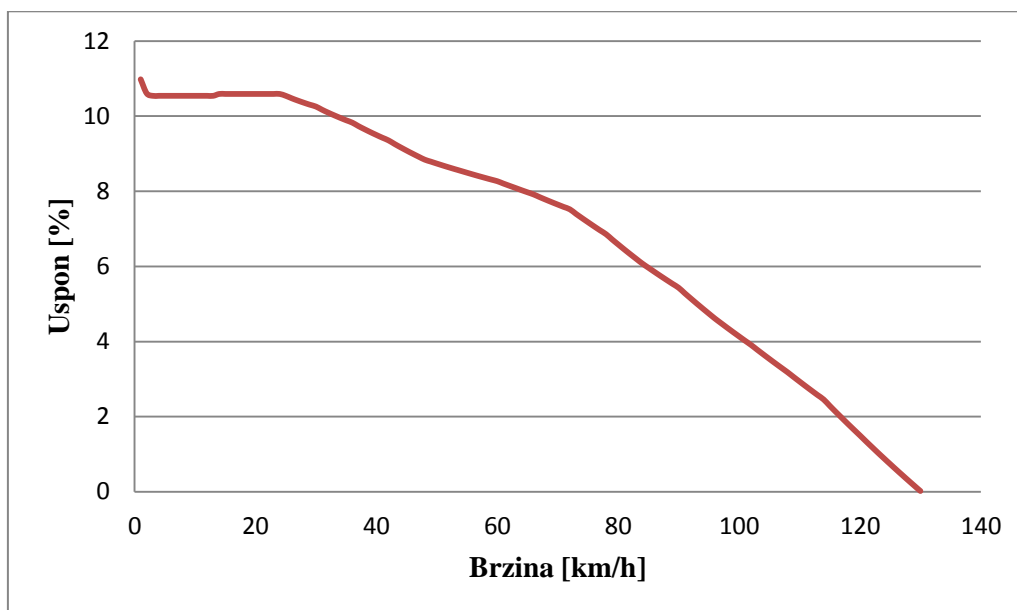
Ekvivalent potrošnje dizelskog goriva donje ogrijevne vrijednosti 39 MJ/l [3] iznosi za prazan minibus:

Prema NEDC-u	4,5 l/100km
Prema Ftp_75	4,6 l/100km

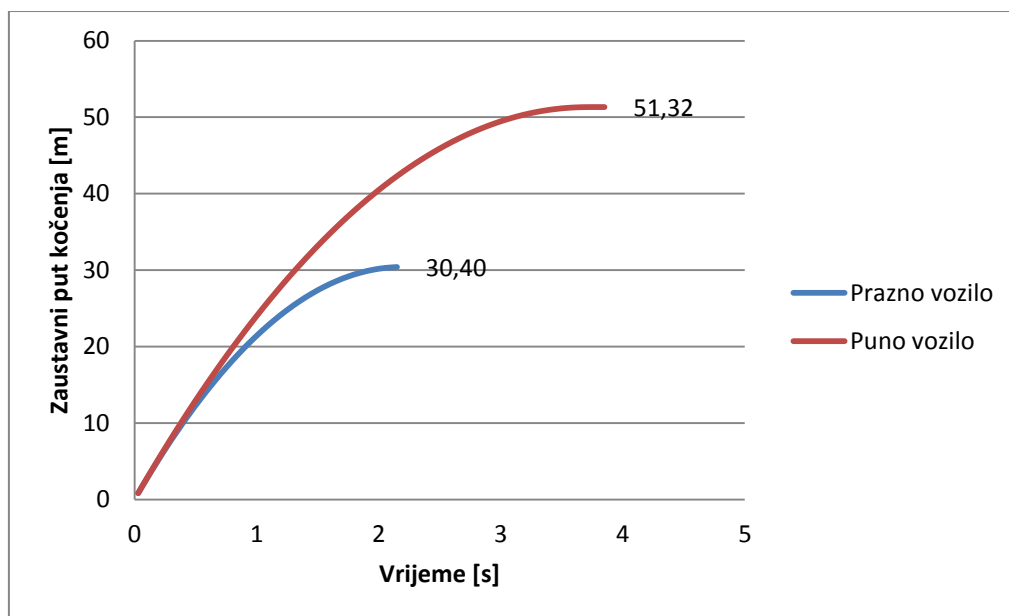
Za puni minibus:

Prema NEDC-u	6,5 l/100km
Prema Ftp_75	7 l/100km

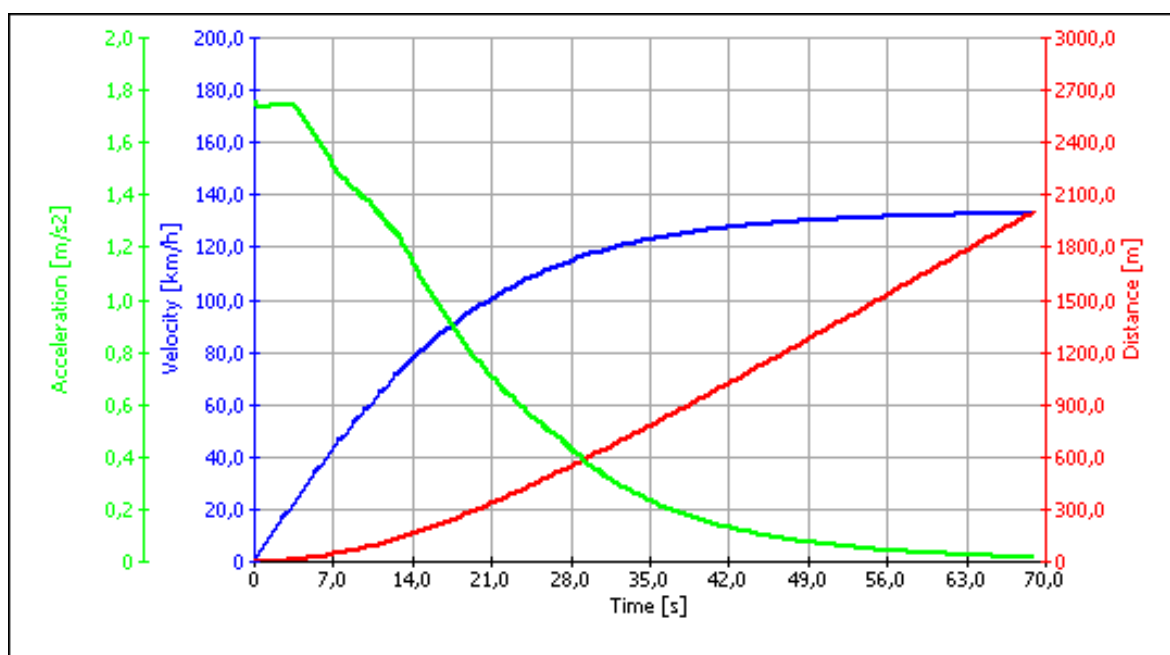
Uzevši kapacitet instaliranih baterija prema primjeru s 21. stranice od 100 kWh i potrošnju od 65 kWh/100 km dobiva se prijeđeni put vozila od 153 km.



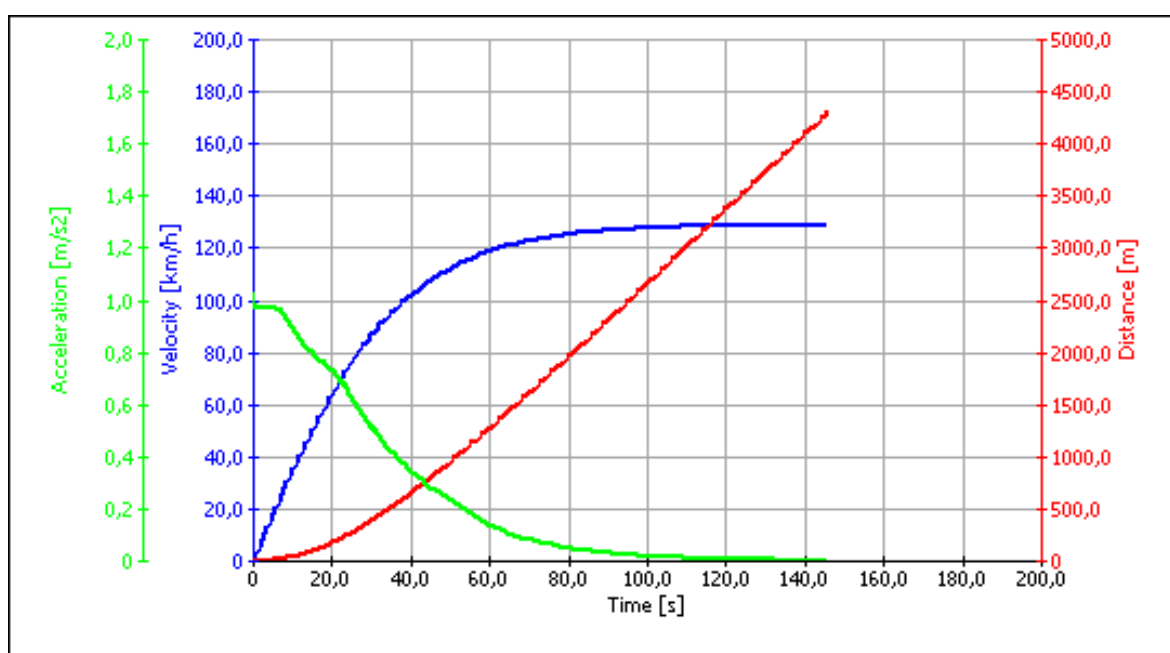
Slika 3.14. Savladivi uspon u ovisnosti o brzini vozila



Slika 3.15. Zaustavni put punog i praznog vozila sa 100 km/h do zaustavljanja



Slika 3.16. Ubrzanje minibusa bez tereta



Slika 3.17. Ubrzanje minibusa s maksimalnim teretom



## 4. ZAKLJUČAK

Korištenje programskog paketa AVL Cruise u svrhu simulacije električnih vozila pruža velike mogućnosti onome tko ga koristi. U radu je proračunata potrošnja prosječnog osobnog vozila pogonjenog električnom energijom i minibusa sa kapacitetom od *dvadeset i dvoje* ljudi za kratke relacije po gradu. Korišteni ciklusi su standardi za određivanje potrošnje u autoindustriji i koriste se kao referentni za prikaz potrošnje vozila.

Rezultati koje proizvođači izlažu baziraju se na testiranju ciklusa vožnje prema europskom NEDC-u ili američkom Ftp\_75. U tim slučajevima vozilo je prazno izuzev vozača i svi dodatni potrošači su isključeni. Rezultati dobiveni korištenjem programa *Cruise* u ovom radu razlikuju se od onih koje predstavljaju proizvođači. U europskom ciklusu NEDC dobivena potrošnja iznosi 18, a službeni rezultati proizvođača 14 kWh/100 km. Ako se primjeni zahtijeniji ciklus kao što je Ftp\_75 te uključimo potrošače kao što su klima, radio i žarulje potrošnja se povećava na visokih 42 kWh/100km, što je za 10 kWh/100km više od najveće potrošnje objavljene od strane EPA-e (*Environmental Protection Agency*) [9]. Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da podaci o potrošnji variraju i ovise o načinu vožnje i uključenim potrošačima.

Ako se uzme da je masa baterija u referentnom vozilu 170 kg i da je specifična energija baterije 140 Wh/kg dobije se kapacitet baterije od 24 kWh i doseg od 80 km. Prosječna pređena udaljenost po jednom danu bi bila zadovoljena. Kako tehnologija proizvodnje baterija napreduje danas postoje komercijalno dostupne baterije sa specifičnom energijom od 200 Wh/kg [7] što bi značilo da naše vozilo ima kapacitet od 34 kWh i time povećava doseg na 113 km. Primjena takvih baterija je međutim skuplja.

Korištenjem električnih vozila u javnom prijevozu je već uobičajena pojava. Postoje autobusi koji dobivaju energiju iz žica postavljenih iznad autobusa (trolejbus). Vozilo koje smo simulirali je međutim zamišljeno tako da baterije pogone električni motor što pruža vozilu neovisnost o infrastrukturi. Dobiveni rezultati od 150 km autonomije govore o velikom potencijalu električnih vozila u javnom prijevozu. Iako je cijena električnih vozila danas relativno visoka, a autonomija slabija u usporedbi sa motorima na unutarnje izgaranje, ne treba zanemariti nižu cijenu za prijeđeni kilometar i primarni razlog proizvodnje takvih vozila, a to je količina ispušnih plinova jednaka nuli.

## 5. LITERATURA

- [1] <http://www.mecanica.pub.ro/avl/cruise.pdf>
- [2] AVL Cruise-Primer, 2010.
- [3] Ante Šoda, Kruno Ormuž, Goran Šagi, Motorna vozila predavanja, 2011.
- [4] <http://www.uqm.com>
- [5] AVL Cruise-Korisnički priručnik (engl. *User manual*), 2010.
- [6] Narodne novine broj 57/06 članak 7. stavka 2. Zakona o tržištu nafte i naftnih derivata
- [7] <http://www.nanotech-now.com/columns/?article=288>
- [8] <http://www.avl.com>
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/Nissan\\_Leaf](http://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_Leaf)